This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

3876

Die

elektrische Beleuchtung

und ihre

Anwendung in der Praxis.

Verfaßt von

Dr. Alfred v. Urbanitzky.

Mit 169 Abbildungen.

Zweite Auflage.

7

Wien. Pest. Leipzig.
A. Hartleben's Verlag.
1890.

(Alle Rechte vorbehalten.)

~~I 3757~~
Eng 4128.90

HARVARD COLLEGE
JUN 17 1890
LIBRARY

Bowditch Fund.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Als die erste Auflage des vorliegenden Werkes erschien, stand noch die gesammte Fach- und insbesondere die Laienwelt unter dem überraschenden Eindrucke der Pariser internationalen Ausstellung für Elektricität im Jahre 1881. Damals wurde aller Welt in überzeugender, unleugbarer Weise dargethan, daß die Frage der elektrischen Beleuchtung der rein akademischen Discussion bereits völlig entwachsen sei und nunmehr eine praktische Behandlung erfordere. Und in der That, dieselbe wurde ihr auch sofort in reichlicher, ja leider übereichlicher Weise zu Theil. Nicht nur jeder Techniker, Physiker und Mechaniker trieb nur Elektrotechnik, sondern jeder Telegraphenwärter, Uhrmacher, Schlosser war über Nacht Elektrotechniker geworden. Jetzt wurde darauf los erfunden, daß es nur so seine helle Freude hatte; hiermit hielten die Gründungen von Actiengesellschaften (namentlich in England) zur Ausbeutung aller dieser großartigen Erfindungen gleichen Schritt. Ausstellung folgte auf Ausstellung und so ging das tolle Treiben fort, bis es endlich im englischen elektrischen Krach, der die allzu sehr erregten Gemüther etwas abkühlte, eine Art Abschluß fand. Auch die Wiener elektrische

Ausstellung, gewissermaßen das letzte brillante Aufleuchten dieser Sturmbewegung, bewirkte dadurch eine bemerkenswerthe Ernüchterung, daß sie jene großartigen Nachwirkungen nicht zur Folge hatte, welche die große Menge erwartete.

Ernste, nüchterne Fachmänner ließen sich jedoch hierdurch nicht irre machen in ihrer Arbeit, wenngleich ihnen nicht jede Störung von Seite Unberufener erspart blieb. Unentwegt arbeiteten sie daran, die zahlreichen Mängel und Schwächen zu beseitigen, welche, wie ihnen wohlbekannt, noch den Maschinen, Lampen und überhaupt dem ganzen Beleuchtungsapparate anhafteten. Sie arbeiteten aber auch nicht umsonst; ihr zielbewußtes Streben führte sie zwar nicht im Sturme, sondern nur Schritt für Schritt, aber dafür sicher von Erfolg zu Erfolg. Und wie sich die Welle am Felsen bricht, mußte auch das Treiben und Lärmen Unberufener mehr und mehr zurückweichen.

Maschinen und Lampen wurden fort und fort verbessert, ihre erst noch ungelenken, zuweilen sogar bizarren Formen in gefälligere Linien gebracht, ihr geräuschvolles Arbeiten gedämpft, die Maschinen hörten auf, den Lampen in das Handwerk zu pfuschen und selbst Licht zu entwickeln gleich diesen und letztere gewannen allmählich einen ruhigen Gang an Stelle ihres anfangs nicht selten blitzartigen Leuchtens. Man erfand die gemischte Schaltung oder die Compound-Maschine und erhöhte die Wirksamkeit der Maschinen überhaupt durch Verwendung möglichst großer Eisenmassen, während man gleichzeitig wesentliche Ersparungen an Kupferdraht erzielte. Zwei Arten elektrischer Lampen, nämlich die Kerzen- und die Glühlampen ohne Vacuum, wurden, als zur praktischen Anwendung weniger geeignet, fast ganz fallen gelassen und endlich machte man auch in der Vertheilung

der elektrischen Energie von Centralstellen aus wesentliche Fortschritte, indem einerseits die Secundärelemente in eine industriell verwerthbare Form gebracht und die Transformatoren construirt wurden, anderseits die Kabelfabrikation mancherlei Verbesserungen erfuhr.

Diese Andeutungen dürften wohl genügen, um darzuthun, daß die vorliegende zweite Auflage eine wesentliche Umgestaltung der ersten Auflage, ja beinahe ein völlig neues Buch werden mußte, um dem gegenwärtigen Stande der elektrischen Beleuchtung zu entsprechen. Demgemäß ist auch der Umfang des Werkchens um mehr als vier Bogen vermehrt, die Zahl der Figuren verdoppelt worden und dem Inhalte wurde noch ein Sach- und Personenregister beigefügt. Bei der Bedeutung und Verbreitung, die gegenwärtig die elektrische Beleuchtung bereits erlangt hat, konnte ich trotz der sorgfältigen Ueberarbeitung und Vergrößerung des Volumens nicht daran denken, den Gegenstand auch nur annähernd erschöpfend zu behandeln, sondern mußte mich vielmehr damit begnügen, in großen Zügen ein allgemein verständliches Bild zu entwerfen.

Möge dieser Arbeit dieselbe freundliche Aufnahme zu Theil werden, wie ihrer Vorgängerin!

Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.

Inhalt.

Seite

Vorwort III

I. Geschichtliche Entwicklung der elektrischen Beleuchtung (mit Fig. 1—6) 1

Elektrischer Funke 2. — Galvanischer Strom 4. — Lichtbogen 5. — Elektrische Lampe 6. — Induction, Maschine 8. — Dynamisches Princip 10. — Ring-Armatur 12. — Theilung des elektrischen Lichtes 14. — Elektrische Kerze 14. — Nebenschließungen 14. — Glühlampen 17. — Quecksilber-Luftpumpen 18.

II. Elektrische Maschinen (mit Fig. 7—53) 19

Induction 19. — Eintheilung der Maschinen 22.

1. Ringmaschinen 22

Gramme'sche Maschinen 30. — Flachringmaschine von Gülcher 35. — Flachringmaschine von Brush 37. — Wechselstrommaschine von Gramme 43. — Auto-Exitatrice 47. — Wechselstrommaschine von Ganz & Co. 48. — Vielpolige Dynamomaschine von Ganz & Co. 51. — Ringmaschine mit Innenpolen von Siemens & Halske 51.

2. Trommelmaschinen 55

Trommelmaschinen von Siemens & Halske 60. — Gleichstrommaschine von Ganz & Co. 64. — Maschinen von Edison 67. — Maschine von Weston 72.

3. Stromerzeugung in der Maschine 77

Dynamo-elektrische Maschine mit Hauptschluß 83. — Nebenschlußmaschine 86. — Compound-Maschine 88.

4. Maschinenbestandtheile 89

III. Secundärelemente und Transformatoren (mit Fig. 54—66) 93

Allgemeine Bedeutung der Secundärelemente und Transformatoren 93.

1. Secundärelemente 94

Secundärelement von Planté 97. — Element Faure 100. — Elemente der Electrical Power Storage Company 102. — Elemente von Schenek und Farbaky 104.

Seite

2. Transformatoren 104
Secundärgeneratoren von Gaulard & Gibbs 105. — Transformatoren von Ganz & Co. 108. — Transformatoren von Jehl und Rupp 109.

IV. Lampen für elektrisches Licht (mit Fig. 67—105) . 114

1. Glühlampen 115
Erzeugung der Glühlampen 117. — Edison-Lampe 120. — Swan-Lampe 126. — Maxim-Lampe 128. — Weston-Lampe 132. — Cruto-Lampe 133. — Diehl-Lampe 134.

2. Bogenlampen 136
Lampe von Jaspar 137. — Lampe von Piette und Križik 140. — Differentiallampe von Siemens & Halske 145. — Flachdecklampe von Siemens & Halske 148. — Lampe von Brush 150. — Lampe von Serrin 154. — Nebenschlußlampe von Gramme 157. — Lampe von Crompton 162. — Lampe von Gülcher 162. — Kerze von Jablochkoff 169. — Soleil-Lampe 171.

V. Beleuchtungsanlagen (mit Fig. 106—169) 174
Motoren 175. — Wechsel- und gleichgerichtete Ströme 177. — Secundärelemente und Transformatoren 180. — Bogenlicht und Glühlicht 185.

1. Stromregulirung und Schaltungen 187
Regulirwiderstände von Siemens & Halske 190. — Stromregulirung nach Maxim 192. — Edison's automatischer Regulator 197. — Lahmeyer's Fernspannregulator 199. — Stromregulirung nach Menges 201. — Schaltung der Maschinen 203. — Schaltung der Lampen 210. — Drei-, Vier-, Mehrleitersystem 212.

2. Leitungen und Hilfsapparate 213
Außenleitung 214. — Concentrische Doppelkabel 216. — Edison-Kabel 218. — Innenleitungen 220. — Blitzschutz-Apparate 222. — Bleisicherungen 225. — Ausschalter 227. — General-Umschalter 228.

3. Meß- und Controlapparate 230
Dynamometer 230. — Tachometer 232. — Ampèremeter 234. — Voltmeter 235. — Controlapparat 235. — Isolationsprüfer 236. — Edison's Registrirapparat 238. — Shallenberger's Strommesser 241. — Photometer 244.

4. Centralstationen für elektrische Beleuchtung . . 247
Brush Electric Light Station in Philadelphia 247. — Centralstation in Genf 249. — Centralstation von Béconne 251. — Beleuchtung der Wiener Hoftheater 259. — Beleuchtung im Pariser Rathhause 259. — Elektricitätswerk Barmen 261.

Seite

5. Anwendungen des elektrischen Lichtes 263

Eisenbahnen 264. — Innenbeleuchtung der Personenwagen 264. — Seewesen 268. — Beleuchtung der Bojen 270. — Durchschiffung des Suez-Canales mit elektrischem Lichte 271. — Leuchtfloß 274. — Fahrbarer Beleuchtungsapparat 274. — Tragbare elektrische Lampe 277. — Elektrisches Licht für ärztliche Untersuchungen 278. — Elektrisches Licht bei physikalischen Instrumenten und Apparaten 280. — Elektrisches Licht in Theatern 281.

Abkürzungen.

Kilometer = km
Meter = m
Centimeter = cm
Millimeter = mm
Quadrat = q
Kubik = cb
Kilogramm = kg
Gramm = g
Secunden-Meter-Kilogramm = s-m-k
Volt = V
Ampère = A
Ohm = O
Watt = W
Pferdekraft = HP
Normal-Kerze = NK.

Sach-Register.

	Seite
Accumulatoren, siehe Secundär-Elemente.	
Alliance-Maschine	9
Ampèremeter	234
Arbeitsmesser	231
Armatur	9
Ausschalter	227
Außenleitung	214
Auto-Excitatrice	47
Beleuchtung im Pariser Rathhause	259
Beleuchtungsanlagen	174
Beleuchtungsversuch, erster	5
Beleuchtungswagen	274
Bleirohrkabel	215
Bleisicherung	225
Blitzschutzapparate	222
Bogenlampen	136
von Brush	150
» Crompton	162
» Gramme	157
» Gülcher	162
» Jaspar	137
» Krizik	140
» Lontin	157
» Serrin	154
» Siemens & Halske	145
Bogenlicht und Glühlicht	185
Bojen, elektr. Licht auf	269
Bremsdynamometer	230
Bremsung, magnetische	161
Bühnenbeleuchtungsapparat	283
Carbonisiren	129
Centralen	247
der Wiener Hoftheater	259
in Barmen	261
Béconne	251
Genf	249
Philadelphia	247
Commutator	9
Compensations-Photometer	246
Compound-Maschinen	88
Concentrisches Doppelkabel	216
Controlapparat	235
Converter	105
Cylinder-Armatur (Inductor)	9
Diadem, elektr.	285
Differential-Lampe	17, 145
Doppelkabel, concentrisches	216
Dreileiter-System	212
Dynamo-elektrisches Princip	10
Dynamo-Maschine, vielpolige	51
Dynamometer	230
Elektricitätswerk in Barmen	261
Eisenbahnen, elektr. Licht	268
Elektrische Kerze	14
Elektrische Lampe	5
(Siehe auch: Bogenlampen, Glühlampen.)	
Elektrische Maschine	8
Elektrischer Funke	2
Elektrisches Leuchten	2
Elektrisches Licht	4
auf Bojen	269
bei Eisenbahnen	264
im Seewesen	268
im Suez-Canal	271
in Theatern	281
Theilung	14
Elektromagnet	6

Seite

Element, galvanisches . . . 4
Erzeugung der Glühlampen 117

Fernspannungs-Regulator . 199
Flachdecklampe 148
Flachringmaschine (Brush) . 37
— (Gülcher) 35
Formiren der Secundär-elemente 99
Funke, elektrischer 2

Galvanisches Element . . . 4
General-Umschalter 228
Gesetz, Ohm'sches 81
Gleichstrom-Maschine (Ganz & Comp.) 64
Gleichströme, Wechselströme und 177
Glühlampen 17, 115
Erzeugung 117
von Cruto 133
» Diehl 134
» Edison 120
» Lane-Fox 131
» Maxim 128
» Swan 126
» Weston 132
Glühlicht, Bogenlicht und . 185
für ärztl. Untersuchungen . 280
für physikalische und astronomische Instrumente . 280

Haarnadel, elektr. 284
Hafenbeleuchtung 269
Hand-Rheostate 188
Hauptschluß 83
Hintereinanderschaltung von Maschinen 203

Induction 8, 19
Inductor 9
Innenleitungen 220
Isolationsprüfer 236
Isolatoren 214

Seite

Kabel 15
Kerze, elektrische 14
von Jablochkoff 169
» Jamin 171
Klemmspannung, constante . 88

Lampen, elektrische . . . 5, 114
allgemeine Anforderungen 184
Schaltung 210
(Siehe auch: Bogenlampen, Glühlampen.)
Leitungen 213
Leuchten, elektrisches 2
Leuchtfloß 274
Lichtbogen 4
Lichtstärke, Messung der . . 243
Luftpumpen 117

Magnetische Bremsung . . 161
Maschinen 8
mit const. Klemmspannung 88
Bestandtheile 89
Parallelschaltung 205
Schaltungen 83
Serienschaltung 203
Stromerzeugung 77
vielpolige 51
von Brush 37
» Edison 67
» Ganz & Co. . . . 48, 64
» Gramme . . . 30, 43
» Gülcher 35
» Siemens & Halske . 60
» Weston 72
Mehrleiter-System 212
Meßapparate 230

Nebenschließung 14
Nebenschluß-Lampe 157
Nebenschluß-Schaltungen . . 84

Oberbund 215

Parallelschaltung von Lampen 210
von Maschinen 205

Seite

Phasen-Indicator 210
Photometer 244
Physiologische Wirkungen der elektrischen Ströme . . . 178
Primärelemente 95
Princip, dynamo-elektrisches . 10

Quecksilber-Luftpumpe . 18, 117

Regenbogen-Apparat . . . 283
Rheostate 188
Registrirapparat 238
Regulator, siehe Stromregulirung.
Regulirwiderstände 188
Ring-Armatur 12, 22
Ringmaschine 22
— mit Innenpolen 51

Schaltbrett 250
Schaltungen 202
der Lampen 210
der Maschinen 83
Schiffe, elektrisches Licht . . 270
Secundärelemente . . . 94
und Secundärgeneratoren 180
Formiren 99
von the Electrical Power Storage Company 102
Faure 100
Planté 97
Schenek und Farbaky . . 104
Secundärgeneratoren . 104, 180
Seitenbund 215
Seewesen, elektrisches Licht . 268
Serienschaltung 203
Soleil-Lampe 171
Solenoid 20
Sonnenapparat Duboscq . . 282
Spannungsmesser 235
Ströme, Ampère'sche . . . 79

Seite

Stromerzeugung in der Maschine 77
Strommesser 238
Stromregulirung 187
Stromsammler 70
Stromstärke 81
Stromwender 9
Stromzeiger 234

Tachometer 232
Tamidin 132
Theilung des elektr. Lichtes 14
Tourenzähler 232
tragbare elektr. Lampe . . . 277
Transformatoren . . . 104
siehe auch Secundärgeneratoren;
von Ganz & Co. 108
» Gaulard & Gibbs . 105
» Zehl und Rupp . . 109
» Westinghouse 105
Trommelmaschinen . . 22, 55
Type superieur 34

Umschalter 228

Vielpolige Dynamo-Maschine 51
Voltabogen 4
Volta-Element 4
Volta-Inductoren 104
Voltmeter 235

Waggonbeleuchtung 264
Wechselstrom-Maschinen, Schaltung 207
von Ganz & Co. 48
» Gramme 43
Wechsel- und Gleichströme . 177
Windräder 177

Zaum, Prony'scher 230

Namen-Register.

Seite

Abria: elektrisches Licht . . 18
Alvergniat: Luftpumpe . 18
Ampère: Solenoid 20
Ströme 79
Arsonval: physiolog. Wirkung elektrischer Ströme . 178

Bläusdorf: Glühlicht für ärztliche Untersuchung . . 278
Bláthy: Transformatoren . 108
Berthoud, Borel & Co.: Bleirohrkabel 215
concentrisches Doppelkabel 216
Brown: physiolog. Wirkung des elektr. Stromes . . . 178
Brückner, Roß & Consl.: Controlapparat 235
Brush: Bogenlampe . . . 150
Maschine 37
Stromregulator 194
Bunsen: Photometer . . . 244
Buß, Sombart & Co.: Tachometer 233

Chanzy, de: Glühlampe . 17
Clarke: Maschine 9
Crompton: Compound-Maschine 88
Bogenlampe 162
Crookes: Radiometer . . . 18
Cruto: Glühlampe 133

Davy, H.: Lichtbogen . . 4
Deleul: erster Beleuchtungsversuch 5

Seite

Déri: Transformator . . . 108
Diehl: Glühlampe 134
Duboscq: Sonnenapparat 282

Edison: automat. Regulator 196
Bleisicherung 225
Glühlampe 19, 120
Leitungen 218
Maschinen 67
Photometer 244
Registrirapparat 238
Stromsammler 70
Electrical Power Storage Company: Secundärelement 102
Ettingshausen: elektrische Maschine 9

Faraday: Induction . . 8, 20
Farbaky, siehe Schenek.
Faure, C.: Secundärelement 100
Fein: Beleuchtungswagen . 274
Foucault, L.: elektrische Lampe 5, 282

Galvani: Strom 4
Ganz & Co.: Maschinen 50, 64
Maschinenschaltung . . . 208
Phasen-Indicator . . . 210
Transformatoren . . 108, 254
Gaulard & Gibbs: Secundärgeneratoren 105
Geißler, H.: Luftpumpe 18, 118
Gibbs, siehe Gaulard.
Gilbert, W.: Elektricität . 2

	Seite
Gramme: Bogenlampe	157
Maschinen	30
Ring-Armatur	12, 22
Wechselstrom-Maschine	43
Greener: Glühlampe	17
Gülcher: Bogenlampe	162
Maschine	35
Guericke, O. v.: Elektricität	2
Hawksbee: elektr. Leuchten	3
Hefner v. Alteneck: Arbeitsmesser	231
Differential-Lampe	17, 145
magnetische Kraftlinien	51
Ringmaschinen mit Innenpolen	54
Heim: physiolog. Wirkung des elektr. Stromes	178
Heurck, H. van: Mikroskop mit Glühlampe	280
Holmes: elektrische Maschine	9
Hopkinson: Maschinenschaltung	207
Jablochkoff: elektrische Kerze	14, 169
Jamin: Kerze	171
Jaspar: Bogenlampe	137
Jehl u. Rupp: Transformatoren	109
Jobart: Glühlampe	17
King: Glühlampe	17
Kravogl: Ring-Armatur	13
Křižik: Bogenlampe	140
Krüß: Compensations-Photometer	246
Lacassagne: Theilungslicht	16
Lahmeyer: Fernspannungs-Regulator	199
Lane-Fox: Glühlampe	19
Kohlenbügel	131
Leibniz: elektrischer Funke	3
Lontin: Bogenlampe	157
Maquaire: Soleillampe	171
Maxim: Glühlampe	19, 128
Kohlenbügel	132
Stromregulirung	192
Menges: Stromregulator	201
Moleyns: Glühlampe	17
Ohm, G. S.: Gesetz	81
Pacinotti: Ring-Armatur	12
Paterson: physiologische Wirkung des elektrischen Stromes	178
Perry, J.: Maschinen	92
Petrie: elektrische Lampe	6
Picard: elektrisches Leuchten	3
Piette, siehe Křižik.	
Pixii: elektrische Maschine	8
Planté, G.: Secundärelement	97, 261
Prouy: Zaum	230
Reynier: Secundärelement	101
Richter: Brush-Maschine	41
Rupp, siehe Jehl.	
Saxton: Maschine	9
Schenek und Farbaky: Secundärelemente	104, 259
Schütz: Glühlicht für ärztl. Untersuchung	278
Schuckert: Bogenlampe	142
Compound-Maschine	88
Elektricitätswerk	261
Serrin: Lampe	154
Shallenberger: Strommesser	241
Siemens & Halske: Ausschalter	227
Compound-Maschine	88
Concentrisches Doppelkabel	216
Differentiallampe	145
Flachdecklampe	148
General-Umschalter	228
Isolationsprüfer	236

Seite

Kabel 249
Maschinenschaltung . . . 205
Regulirwiderstand 190
Ringmaschine mit Innenpolen 51
Spannungsmesser 235
Stromzeiger 234
Trommelmaschinen . . . 55
Siemens, W. v.: Cylinder-Armatur 9
Dynamo-elektr. Princip . 10
Sinsteden: Dynamo-elektr. Princip 10
Sprengel: Luftpumpe 18, 118
Staite: Lampe 6, 17
Starr: Glühlampe 17
Stöhrer: Maschine 9
Street: Soleillampe . . . 171
Swan: Glühlampe . . 19, 126
Swedenborg: Luftpumpe . 18

Thiers: Theilungslicht . . 16
Thomson, E.: Blitzableiter 224
— S.: Elektrisches Licht . 4
Toricelli: Barometerleere . 117

Seite

Trouvé: Tragb. Lampe 277, 284
Tschikoleff: Theilungslicht 17
Tudor: Secundärbatterie . 262
Turettini: Centrale . . . 259

Uppenborn: Maschinen . . 90
Secundärelement 102
Urbanitzky: Elektr. Licht . 18

Volta: Strom 4

Walker: Leuchtfloß . . . 274
Wheatstone: Dynamo-elektr. Princip 10
Westinghouse: Transformatoren 105
Weston: Glühlampe . . . 132
Maschine 72
Wilde: Maschine 10
Wright: Lampe 6
Wybauw: Lichtmessung . . 246

Zypernowsky: Maschinen . 48
Transformatoren 108

Die

elektrische Beleuchtung

und ihre

Anwendung in der Praxis.

I.

Geschichtliche Entwicklung der elektrischen Beleuchtung.

Gegenwärtig sehen wir im elektrischen Lichte eine alltägliche Erscheinung, die besonders zu beachten sich kaum mehr der Mühe lohnt — und doch war dasselbe vor verhältnißmäßig kurzer Zeit noch von Wenigen gekannt, wurde höchstens als überraschendes Experiment in physikalischen Laboratorien gezeigt, zur Hervorrufung eines besonders brillanten Lichteffectes auf den Bühnen großer Theater verwendet oder endlich bei Nachtarbeiten von ganz ungewöhnlicher Art und Bedeutung in praktische Anwendung gebracht. Wir sind sonach gewiß zu der Frage berechtigt, wieso es kommt, daß das früher unbeachtete elektrische Licht nunmehr im Laufe weniger Jahre zum gefährlichen Nebenbuhler jeder anderen Beleuchtungsart geworden ist, daß es in ungehemmtem Siegeslaufe die ganze Welt durcheilt. Wohin wir unseren Blick auch richten mögen, überall treten uns gegenwärtig Anwendungen des elektrischen Lichtes entgegen: Wir finden es als kleines Fünkchen, eingeschlossen in jene wunderbaren Instrumente, welche heute dem Arzte gestatten, Krankheitsprocesse, die sich im Inneren unseres Körpers abspielen, ebenso genau zu beobachten und zu verfolgen,

wie die offen zu Tage tretenden; wir finden das elektrische Licht als leuchtende Sonne auf dem meerumbrausten Leuchtthurme; es erleuchtet unsere Wohnräume in gleicher Weise wie Straßen und Plätze; es hat sich sowohl in unsere Fabriken, als auch in die Theater Eingang verschafft und erhellt unsere, schwimmenden Palästen gleichenden Schiffe ebenso, wie es tief im Schooß der Erde am glitzernden Stein, am blendenden Erz sich spiegelt.

Ist dieses an Kraft und Glanz mit der Sonne wetteifernde Licht erst in jüngster Zeit entdeckt worden?

Wenn unter elektrischem Lichte jede Art künstlich erregten Leuchtens verstanden werden soll, bei welcher Elektricität in Wirksamkeit tritt, dann muß allerdings auch zugegeben werden, daß das elektrische Licht schon geraume Zeit bekannt ist. Die erste Kunde davon gab uns ein Magdeburger Bürgermeister, Otto v. Guericke, der im 17. Jahrhunderte lebte. Er brachte nämlich eine in Drehung versetzte Schwefelkugel durch Reibung gegen die aufgelegte trockene Hand in jenen Zustand, den wir, nach dem Vorschlage des Vaters der Elektricitätslehre, William Gilbert (geb. 1540, gest. 1603), den elektrischen nennen. In seiner Beschreibung dieser Versuche sagt nun Guericke bezüglich der Leuchtkraft, welche die Schwefelkugel hierbei erlangt, daß jene in derselben Weise, nämlich durch Reibung, wie die Wärme entstehe. »Denn wenn man sie (die Kugel) in ein dunkles Zimmer bringt,« heißt es, »und mit trockener Hand, vorzüglich Nachts, reibt, so leuchtet sie auf gleiche Weise wie Zucker, wenn man ihn stößt.« Kann es sonach keinem Zweifel unterliegen, daß Guericke das elektrische Leuchten gekannt hat, so ist doch anderseits, wie sehr uns dies auch wundern mag, bewiesen, daß die Wahrnehmung des elektrischen Funkens seiner Aufmerksamkeit entging.

Ja als Leibniz denselben beobachtete und sich in einem vom 31. Jänner 1672 datirten Briefe darüber äußerte, drückte Guericke in seinem Antwortschreiben sogar einen Zweifel an der Richtigkeit dieser Beobachtung aus; er schrieb:

»Nuhn weiss nicht ob etwa ein missverstand hierbey, weil mihr von Wärme bey der Kugel nichts bewust, die Funken aber müssten etwa von dem leuchten zu verstehen sein, wan man Sie mit trucken handen bey der nachtt oder im finstern gemach bestreichet, so gibtt Sie, wie der Zucker leuchtung von sich.«

Als im Jahre 1698 nun auch Robert Boyle den elektrischen Funken wahrnahm, und zwar beim Reiben eines großen Stückes Bernstein, war wohl jeder Zweifel an der von Leibniz gemachten Beobachtung behoben.

Ueber eine andere Art elektrischen Leuchtens, nämlich über jenes von elektrisirten Gasen oder Dämpfen in sehr verdünntem Zustande wurde von Picard im Jahre 1672 berichtet; doch war es Hawksbee vorbehalten, zu Beginn des 18. Jahrhunderts die richtige Erklärung hierfür zu geben.

Wenngleich also unsere Bekanntschaft mit dem elektrischen Lichte ziemlich weit zurück reicht, so waren doch immerhin noch Entdeckungen ersten Ranges zu machen, bevor es gelingen konnte, den schwachen elektrischen Schimmer bis zum blendend hellen Bogenlichte zu steigern. Zwei Richtungen waren es namentlich, in welchen sich diesbezüglich der menschliche Forschungsgeist und Scharfsinn hervorragend bethätigte. Die eine besteht in der Auffindung, Entwicklung und Vervollkommnung neuer Methoden der Elektricitätserregung oder, um sie kurz zu charakterisiren, in der Entdeckung des galvanischen Stromes und der Inductionselektricität, die andere Richtung ist gekennzeichnet durch die

Entdeckung des Lichtbogens und des elektrischen Glühens, sowie auch durch die Bestrebungen, welche auf die Dienstbarmachung dieser Erscheinungen oder der elektrischen Ströme überhaupt, für praktische Zwecke hinzielten.

Das wichtigste Ergebniß, welches aus dem berühmten Gelehrtenstreite, der zwischen Galvani und Volta geführt wurde, resultirte, ist die Erfindung des galvanischen oder des Volta-Elementes, beziehungsweise der Voltasäule im Jahre 1800. Hiermit war der unverläßlichen und verhältnißmäßig schwach wirkenden Elektrisirmaschine eine neue Elektricitätsquelle an die Seite gestellt, welche in Bezug auf Zeitdauer und Stärke der erzeugbaren Ströme der Elektrisirmaschine weit überlegen ist und welche überhaupt den Ausgangspunkt für ein ganz neues Wissensgebiet, nämlich für den Galvanismus bildet. Für das elektrische Licht war die Erfindung der Voltasäule deshalb von hoher Bedeutung, weil hierdurch die Möglichkeit, den galvanischen Lichtbogen hervorzurufen, gegeben war. Obwohl der Zeitpunkt, zu welchem derselbe zum ersten Male beobachtet wurde, nicht mit absoluter Sicherheit angebbar erscheint, machen es historische Forschungen, welche Sylvanus Thomson angestellt hat, wahrscheinlich, daß Sir Humphry Davy der Entdecker und das Jahr 1802 als die Zeit der ersten Beobachtung anzunehmen ist.

Der **Lichtbogen** entsteht, wenn man die Poldrähte einer hinlänglich großen galvanischen Batterie an ihren freien Enden mit Kohlenspitzen versieht, diese zur Berührung bringt und dann langsam auf geringe Distanz wieder von einander entfernt. Eingehende Untersuchungen verschiedener Forscher haben gezeigt, daß der Voltabogen als ein Strom glühender und verbrennender Kohlentheilchen aufzufassen ist, die zumeist in der Richtung von der positiven zur negativen Kohle

übergehen. Die Kohlenstäbe verbrennen hierbei in der Art, daß die positive Kohle beiläufig doppelt so schnell verzehrt wird, als die negative. Gleichzeitig gewinnen auch die Formen beider Kohlen ein von einander verschiedenes Aussehen. Man kann diese Veränderung am einfachsten in der Weise beobachten, daß man den Voltabogen mit Hilfe einer Linse auf einen Schirm projicirt. Das auf diese Art erhaltene Bild zeigt Fig. 1. Es ist hieraus deutlich zu erkennen, daß die eine Kohle, die positive, sich kraterförmig aushöhlt, während die andere Kohle, die negative, zugespitzt erscheint. Die Beachtung dieser Formänderung ist für die praktische Anwendung von Wichtigkeit, weil sie bedingt, daß die überwiegende Menge der Lichtstrahlen von der positiven Elektrode kegelförmig ausgestrahlt wird. Bei Anwendung von Strömen stets wechselnder Richtung, sogenannten Wechselströmen, brennen natürlich beide Kohlen gleichförmig spitz ab.

Davy nahm zur Erzeugung des Lichtbogens Stäbchen aus Holzkohle. Da dieses Material eine sehr geringe Dichtigkeit besitzt, brennt es auch sehr rasch ab und der Lichtbogen erlischt in kurzer Zeit, da durch das Abbrennen der Kohlen der Luftzwischenraum ein größerer wird als jener, welchen der Lichtbogen zu überbrücken vermag. Davy suchte diesen Uebelstand dadurch zu vermindern, daß er die Stäbchen sammt dem Lichtbogen in ein Glasgefäß (elektrisches Ei) luftdicht einschloß und so durch Entziehung des Sauerstoffes den Verbrauch der Kohlen verzögerte. Bessere Resultate erhielt jedoch Leon Foucault im Jahre 1844 durch Anwendung von Retortenkohle und Construction einer Lampe, bei welcher man die Entfernung der Kohlenspitzen mit der Hand regulirte. Mit dieser Lampe wurden im selben Jahre von Deleul Beleuchtungsversuche auf dem Place de la Concorde in Paris unternommen.

Im Jahre 1845 erdachte Thomas Wright in London eine Lampe, bei welcher der Lichtbogen zwischen zwei kreisrunden Kohlenscheiben hervorgerufen wurde, die man durch irgend einen Mechanismus in Drehung versetzte.

Ein wesentlicher Fortschritt in der Construction von

Fig. 1.

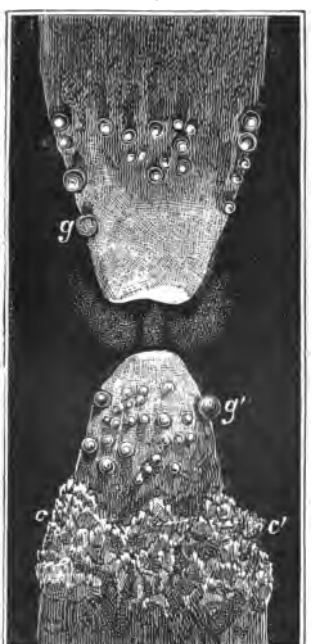
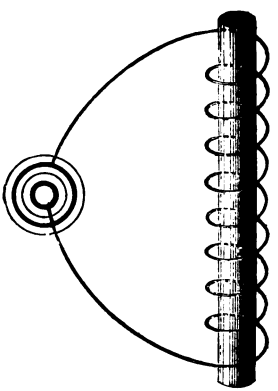


Fig. 2.



Lampen datirt aus dem Jahre 1848. Leon Foucault in Frankreich, Staite und Petrie in England legten als Princip ihrer Construction die Regulirung der Entfernung der Kohlenspitzen von einander durch den Strom selbst zu Grunde. Dieses Princip ist seither bei allen Regulatoren in Anwendung und dieselbe gründet sich auf folgende Erwägung: Umwickelt man (Fig. 2) einen Eisenkern mit einer Drahtspirale und läßt durch diese dann einen elektrischen Strom gehen, so wird der Eisenkern magnetisch,

und zwar, unter sonst gleichen Umständen, stärker, wenn der Strom stärker, und schwächer, wenn der Strom schwächer ist. Der Strom wird aber, bei im übrigen ungeänderten Bedingungen, dann schwächer, wenn der Widerstand im Schließungsbogen zunimmt, stärker, wenn derselbe abnimmt. Nun ist eben auch der Voltabogen ein Theil des Schließungsbogens und verhält sich wie dieser; wird er durch Abbrennen der Kohlen länger, so vergrößert er den Widerstand, schwächt den Strom, und wenn dieser auf die früher angegebene Art auf einen Eisenkern wirkt, so nimmt auch der Magnetismus des Eisenkernes genau der Stromschwächung entsprechend ab.

Diese Veränderungen der Stärke des Magnetismus, welche immer genau den Aenderungen der Stromstärke im Schließungsbogen entsprechen, wurden nunmehr dazu benützt, auf die Bewegung der Kohlenspitzen von einander oder gegen einander einzuwirken. So construirten le Molt, Archereau, Foucault, Dubosq, Harrison, Wallace-Farmer und viele Andere Bogenlampen, die mehr oder weniger der Anforderung entsprachen, ein constantes Licht zu erhalten.

Hierdurch war allerdings wieder ein Schritt vorwärts gethan, um das elektrische Licht für die Praxis anwendbar zu machen. Und in der That bediente sich im Jahre 1848 die Pariser Oper desselben, als es sich bei der Aufführung des »Propheten« darum handelte, den Aufgang der Sonne darzustellen. Der Erfolg war ein brillanter, und seitdem wurde das elektrische Licht bei allen größeren Opern und Balleten verwendet. Wichtiger war seine Anwendung beim Baue der spanischen Nordbahn im Jahre 1862, des Forts Chavagnac bei Cherbourg, der Rheinbrücke bei Straßburg u. s. w.

Aber alle Anwendungen erstreckten sich nur auf solche Fälle, in welchen die Kosten dieser neuen Beleuchtung nicht in Betracht kamen, sei es, daß der gewünschte Effect auf keine andere Weise zu erreichen war, oder sei es, daß die Wichtigkeit der Sache unbedingt nöthig machte, auch bei Nacht zu arbeiten. Zu einer ausgedehnteren Anwendung kam es nicht, da man zur Erzeugung des elektrischen Stromes kein anderes Mittel kannte als die Batterien, deren Anwendung nicht nur kostspielig ist, sondern auch mancherlei Unbequemlichkeiten mit sich führt.

Um der elektrischen Beleuchtung eine ausgedehntere Verwendbarkeit zu geben, mußte man zunächst auf ein Mittel sinnen, den elektrischen Strom billig herzustellen. Man fand dieses Mittel in der von Faraday 1831 endeckten **Induction**, das heißt in der Erzeugung elektrischer Ströme durch elektrische Ströme oder durch Magnete. Für den Bau von Maschinen kommen in Betracht alle Arten der Magneto-Induction, sowie auch jene Induction, welche durch die Bewegung eines von einem Strome durchflossenen Leiters zu oder von einem Leiter entsteht.

Schon im Jahre 1832 wurde die Magneto-Induction von Pixii in Paris zum Baue einer **Maschine** benützt. Er befestigte an einem Gestelle parallel neben einander zwei Drahtspulen derart, daß ihre Längsrichtungen vertical waren; unter den Spulen konnte ein kräftiger, permanenter Magnet von Hufeisenform um seine Längsaxe, die gleichfalls vertical gestellt war, in rasche Rotation versetzt werden. Da aber der Strom, welcher bei der Bewegung des Magnetpoles zur Spule in dieser entsteht, die entgegengesetzte Richtung hat, wie der Strom, welcher bei der Bewegung von der Spule inducirt wird, so gab die Maschine Ströme von um so rascher wechselnder Richtung, je rascher die

Rotation des Magnetes bewirkt wurde. In vielen Fällen ist das fortwährende Wechseln der Stromrichtungen störend; diesem Uebelstande half Pixii dadurch ab, daß er einen Commutator oder Stromwender an seiner Maschine anbrachte.

Die Maschine wurde dann durch Saxton, Clarke und Ettingshausen dadurch verbessert, daß diese statt des schweren Magnetes die viel leichteren Drahtspulen (Armatur mit Drahtlagern) rotiren ließen.

Bedeutend günstigere Resultate gaben die größeren Maschinen von Stöhrer, welcher mehrere sehr große und kräftige, zusammengesetzte-Magnete anwandte und dicht über deren Polen ein System von Drahtspulen rasch rotiren ließ. Durch diesen Erfolg angeregt, construirte man nun große magneto-elektrische Maschinen, von welchen die der Gesellschaft »l'Alliance« und die Maschine von Holmes die bekanntesten sind. Sie bilden zugleich die ersten Maschinen, die in der Praxis Verwendung fanden.

Den nächsten Fortschritt machte im Jahre 1857 W. v. Siemens durch Erfindung des Cylinder-Inductors, oder richtiger ausgedrückt: der Cylinder-Armatur. Die einfachste Form dieser Armatur und deren Lage zu den Polen der Magnete zeigen die Fig. 3, 4 und 5. Ein Eisencylinder E ist seiner Länge nach so ausgeschnitten, daß der Querschnitt die Gestalt eines doppelten T annimmt. In die Nuth ist isolirter Kupferdraht in der Weise gewickelt, daß die Form des Cylinders wieder vollkommen hergestellt ist; ein Ende des Drahtes geht in die Achse a des Cylinders, das andere Ende zu einem auf die Achse isolirt aufgesetzten Ring r. Jeder der nahe aneinander parallel liegenden Stahlmagnete ist an der inneren Seite bei n und s kreisförmig ausgeschnitten; der Cylinder rotirt in diesen

Ausschnitten mit möglichst geringem Spielraume und ist an dieser Stelle der größten magnetischen Kraft, der stärksten inducirenden Wirkung ausgesetzt. Siemens erhielt durch seine Construction bei kleineren Dimensionen stärkere Ströme, als die früher erwähnten Maschinen gaben. Er selbst baute nach diesem Principe Maschinen für telegraphische Zwecke, Läutewerke 2c. Wilde in Manchester erzeugte im Jahre 1866

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

sehr kräftige Ströme dadurch, daß er die starken Inductionsströme einer Siemens'schen Magnetmaschine dazu anwandte, außerordentlich kräftige Elektromagnete zu erzeugen, die dann auf eine große Cylinder-Armatur einwirkten.*) Letztere wurde durch eine Dampfmaschine von 15 HP in Rotation versetzt und lieferte Ströme von bis dahin unerreichter Stärke. Von einer ausgedehnten Anwendung in der Praxis war aber auch noch diese Maschine mannigfacher Umstände wegen ausgeschlossen.

Ein neuerlicher Fortschritt in der Construction der Maschinen wurde von W. v. Siemens und Wheatstone durch die Entdeckung des **dynamischen Principes** angebahnt. Die beiden Gelehrten gelangten fast zu gleicher Zeit, im Jahre 1867, unabhängig von einander zur Aufstellung des-

*) Ein diesbezüglicher Vorschlag wurde übrigens bereits von Sinsteden im Jahre 1851 gemacht.

selben. Man versteht darunter die Erzeugung starker elektrischer Ströme nicht unter Anwendung permanenter Magnete, sondern nur mit Hilfe des schwachen, im Eisenkerne zurückgebliebenen (remanenten) Magnetismus durch Rotation, das heißt Arbeitsaufwand.

Zur Erklärung dieses Principes denken wir uns bei der früher besprochenen Maschine von Siemens den Hufeisenmagnet durch einen Elektromagnet ersetzt und dessen Drahtwindungen mit jenen des Ankers in Verbindung stehend. Erinnern wir uns ferner der Thatsache, daß in jedem Eisen, und möge es das weichste Schmiedeeisen sein, ein geringer Magnetismus zurückbleibt, wenn selbes einmal Magnet war, daß selbst das längere Beharren eines Eisenstückes in einer bestimmten Stellung genügt, um jenen remanenten Magnetismus durch den Erdmagnetismus hervorzurufen. Versetzt man die Armatur in Drehung, so wird dieser schwache Magnetismus in den Eisenkernen der Elektromagnete elektrische Ströme in den Drahtwindungen der Armatur erzeugen. Diese werden allerdings außerordentlich schwach sein, aber da die Armaturdrähte mit den Drähten der Elektromagnete in Verbindung stehen, gelangen die inducirten Ströme auch in den Elektromagnet und dieser gewinnt etwas an Kraft. Die nun durch letzteren in der Armatur inducirten Ströme werden daher schon etwas stärker sein, und da diese wieder die Drahtwindungen des Elektromagnetes umkreisen, erfährt letzterer abermals eine Stärkung. Diese gegenseitige Stärkung von Magnet und Strom geht so lange fort, bis der Magnetismus der Eisenkerne jenes Maximum erreicht hat, das dem magnetischen Fassungsvermögen (der magnetischen Capacität) der Eisenkerne entspricht.

Auf diese Weise gelingt es, Ströme von einer Stärke zu erzeugen, die früher bei Anwendung von Stahlmagneten

ganz unerreichbar erschien, da erstens die Kraft der Stahlmagnete in weit geringerem Grade zunimmt als deren Masse, und zweitens die magnetische Kraft einer großen Anzahl kleiner Stahlmagnete sich nicht auf eine kleine Polfläche concentriren läßt, ohne daß sich die einzelnen Magnete gegenseitig schwächen. Will man mit solchen kräftige Ströme erzeugen, so muß man den Maschinen bedeutende Dimensionen geben, was außer anderen Uebelständen auch den der Kostspieligkeit mit sich führt.

Obgleich nicht geleugnet werden kann, daß die Entdeckung des dynamischen Principes einen hochwichtigen und wesentlichen Fortschritt in der Maschinen-Construction bedeutet, so ist es doch auch durch diesen noch nicht gelungen, der Maschine jene kolossale Bedeutung zu geben, welche sie sich gegenwärtig errungen hat. Dazu brachten es erst Pacinotti und Gramme durch die Erfindung der **Ring-Armatur**. Die Priorität dieser Erfindung gebührt Ersterem, das Verdienst, sie in der Praxis zu allgemeiner Anwendung gebracht zu haben, Letzterem. Pacinotti veröffentlichte seine Erfindung im Jahre 1863 im »Nuovo Cimento«, fand aber damals keine Beachtung. Seine Maschine bestand im Wesentlichen aus einem Eisenringe, auf welchem zwischen radial gestellten Keilen Drahtspulen derart gewickelt waren, daß je das Ende der einen und der Anfang der nächstfolgenden Spule mit einander in Verbindung standen. Von jeder dieser Verbindungsstellen führte ein Draht zu einem Metallstreifen, deren so viele an der Drehungsaxe des Ringes auf einem Cylinder angebracht waren, als es Verbindungsstellen gab. Auf diesem durch von einander isolirte Metallstreifen gebildeten Cylinder ließ Pacinotti Gleitrollen zur Ableitung der in den Spiralen des Ringes inducirten Ströme laufen. Die Inductionsströme wurden her-

vorgerufen, indem man den Ring mit seinen Drahtspiralen zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagnetes in Drehung versetzte. Pacinotti benützte seine Construction nur zur Herstellung kleiner magneto-elektrischer Stromerzeuger und ebensolcher elektromagnetischer Motoren.

Theophile Gramme in Paris construirte, unbekannt mit den Arbeiten Pacinotti's, einen Elektromotor in der Art, daß er innerhalb eines feststehenden, hohlen und mit einem Drahtgewinde umgebenen Eisenringes einen inducirenden Magnet rotiren ließ und durch geeignete Ableitungen aus dem Drahtgewinde gleichgerichtete Ströme erhielt.*) Erst in späterer Zeit bediente er sich der Anordnung, welche Pacinotti dem Ringe gegeben hatte, und baute im Jahre 1871 die erste dynamo-elektrische Maschine. Von diesem Zeitpunkte an eroberte sich die elektrische Maschine eine mit staunenswerther Schnelligkeit wachsende Bedeutung.

Durch Erfindung des Pacinotti-Gramme'schen Ringes und die Entdeckung des dynamischen Principes war die elektrische Maschine allerdings zu einer Ausbildung gelangt, die es erlaubt, Arbeit in jedem beliebigen Betrage in Elektricität umzusetzen und daher elektrische Ströme von beliebiger Stärke zu einem Preise zu erzeugen, der die Anwendung derselben zur elektrischen Beleuchtung vortheilhaft erscheinen läßt, und zwar umsomehr, als inzwischen auch in der Construction der Lampen Fortschritte gemacht wurden. Da stieß man aber neuerdings auf ein Hinderniß: Eine Maschine konnte zwar ein sehr kräftiges, aber eben nur ein einziges Licht erzeugen. Sollte man daher das elektrische

*) Eine ähnliche Construction gab auch der Mechaniker Kravogl in Wilten bei Innsbruck 1867 der von ihm damals gebauten Maschine.

Licht nicht nur in einer engbegrenzten Anzahl von Fällen anwenden können, so mußte man Mittel und Wege finden, um den von einer Maschine gelieferten Strom zur Speisung mehrerer beliebig vertheilter Lampen derart verwenden zu können, daß die einzelnen Lampen von einander gänzlich unabhängig bleiben; man hatte noch das Problem der **Theilung des elektrischen Lichtes** zu lösen.

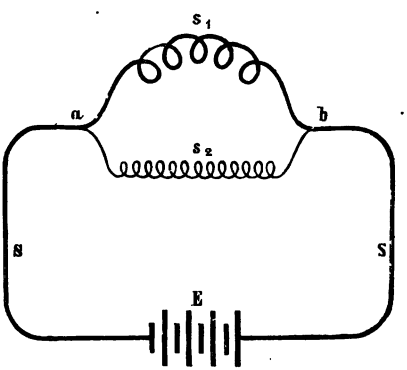
Sehen wir von den älteren Versuchen, welche in dieser Richtung gemacht wurden, ab, so ist als erster praktischer Schritt, der zur Theilung des elektrischen Lichtes unter Anwendung von Bogenlicht gemacht wurde, die Erfindung der elektrischen Kerze durch Paul Jablochkoff zu bezeichnen. Die elektrische Kerze ermöglichte den Betrieb einer größeren Anzahl von Lichtern in einem Stromkreise und dies hatte zur Folge, daß von da ab die elektrische Beleuchtung in kürzester Zeit große Verbreitung erlangte.

Jedoch im selben Maße, als die Kerzen an Verbreitung gewannen, stellten sich auch verschiedene Uebelstände heraus. Um diese zu vermeiden, kehrte man doch wieder zu den mit Regulirvorrichtungen versehenen Lampen zurück und strebte mit Hilfe dieser die Lichttheilung zu erreichen. Die Lösung dieser Aufgabe wurde endlich in einer entsprechenden Anwendung jener Gesetze gefunden, welche für Stromverzweigungen oder Nebenschließungen Geltung haben.

Unter Nebenschließung oder Stromverzweigung versteht man jene Anordnung des Schließungsbogens irgendeiner Elektricitätsquelle E (Fig. 6), bei welcher von einem Punkte a der Hauptleitung aus dem Strome mehrere Wege, s_1 und s_2, dargeboten werden, die sich dann in einem zweiten Punkte b der Hauptleitung wieder treffen; s_1 und s_2 sind hierbei die Stromverzweigungen. Für die Stromstärken

an den verschiedenen Stellen eines derartigen zusammengesetzten und verzweigten Leitersystems ist nun durch zahlreiche Versuche folgendes Gesetz gefunden worden: Die Stromstärken in den beiden Zweigen s_1 und s_2 stehen zu einander im umgekehrten Verhältnisse wie die Widerstände, welche diese Zweige dem Durchgange des Stromes entgegensetzen; hierbei ist die Summe der Stromstärken in beiden

Fig. 6.



Zweigen stets gleich der Stromstärke im unverzweigten Theile (s) des Stromkreises.

Schaltet man nun in einen solchen Stromkreis eine Lampe derart ein, daß ihre Kohlen nach s_1 kommen, ihr Regulirungsmechanismus nach s_2 verlegt wird, so ist hiermit die Lichttheilung durch Stromverzweigung gelöst, denn jetzt functionirt das System folgendermaßen: Der Strom theilt sich bei a in zwei Theile, deren weitaus größerer durch s_1 geht, weil hier, so lange sich die beiden Kohlen berühren, der Widerstand ein geringer ist, in s_2 aber eine Drahtspirale (die Regulirvorrichtung) von hohem Widerstande

sich befindet. Zur Erzeugung des Lichtbogens müssen dann die beiden Kohlen etwas von einander entfernt werden, wodurch in den Stromzweig s_1 ein kleiner Luftzwischenraum eingeschaltet, also der Widerstand dieses Zweiges erhöht wird. Beim Abbrennen der Kohlen wird dieser Luftzwischenraum und mit ihm der Widerstand immer größer und übertrifft schließlich sogar jenen im Zweige s_2, das heißt im Regulirungsmechanismus. In diesem Momente wird daher in s_2 der stärkere und in s_1 der schwächere Stromantheil durchfließen und ersterer Umstand bewirken, daß der Regulirungsmechanismus in Thätigkeit kommt, das heißt, daß die Kohlen wieder einander genähert werden; hierauf werden die Kohlen weiter brennen, bis abermals ihre Entfernung von einander zu groß geworden ist und daher der Mechanismus in Thätigkeit gesetzt wird u. s. w. Hierbei erfolgt aber die Regulirung der Lampe innerhalb der Punkte a und b des Stromkreises und wechseln auch die Stromstärken nur in den beiden Zweigen s_1 und s_2 zwischen den genannten Punkten, während die Stromstärke in der ungetheilten Leitung unverändert bleibt. Werden daher an einer zweiten, dritten u. s. w. Stelle des bisher als unverzweigt angenommenen Leiters ebensolche Stromverzweigungen angebracht, das heißt in den Schließungsbogen der Stromquelle E mehrere Lampen in der oben angegebenen Weise hintereinander eingeschaltet, so wird die Regulirung, beziehungsweise die damit verbundene Stromschwankung einer Lampe auf die anderen keinerlei störenden Einfluß ausüben können.

Die erste Lampe unter Anwendung des eben erörterten Princips wurde im Jahre 1855 von Lacassagne und Thiers construirt. Da sie jedoch von ihren Erfindern weder für Theilungslicht erdacht noch für solches praktisch ver-

wendet wurde, muß ein wesentliches Verdienst an der Lösung des Problems Tschikoleff zugeschrieben werden. Tschikoleff's Lampe für Theilungslicht stand bereits im Jahre 1877 in Verwendung; im Jahre 1879 endlich wurde das Patent auf die durch v. Hefner-Alteneck construirte Differentiallampe genommen.

Gleichzeitig mit der Vollendung der Bogenlampen erreichten auch die **Glühlampen** einen hinlänglich hohen Grad ihrer Ausbildung, um an deren praktische Verwerthung zu schreiten. Die Arbeiten, welche zur Erzielung dieses Resultates unternommen wurden, hatten wesentlich zwei Dinge im Auge zu behalten: die Erzeugung eines brauchbaren Glühkörpers und die Herstellung eines möglichst vollständigen Vacuums in den Glasgefäßen, in welche der Glühkörper eingeschlossen wurde.

Was zunächst die Erzeugung brauchbarer Glühkörper betrifft, so ist zu bemerken, daß diesbezügliche Vorschläge und Experimente schon vor ziemlich geraumer Zeit gemacht wurden. So hat Jobart in Brüssel bereits im Jahre 1838 vorgeschlagen, behufs Herstellung einer Lampe Kohle in luftleeren Gefäßen als Leiter für den Strom zu benützen. Im Jahre 1841 nahm F. Moleyns in Cheltenham ein Patent auf eine Lampe, bei welcher auf eine zum Glühen gebrachte Platinspirale feines Kohlenpulver fiel. Jobart's Schüler, de Changy, construirte im Jahre 1844 eine Glühlampe unter Anwendung eines feinen Stäbchens aus Retortenkohle. Auch Starr (Patent King) benützte im Jahre 1845 ein glühendes Kohlenstäbchen im Vacuum. Eine ganz ähnliche Lampe construirten ferner Greener und Staite im Jahre 1846 u. s. w.

Bedeutende Schwierigkeiten waren auch zu überwinden, bevor es gelang, das für die Dauerhaftigkeit der glühenden

Kohle unbedingt erforderliche Vacuum in hinlänglicher Vollkommenheit zu erreichen und zu erhalten, oder mit anderen Worten, bis es gelang, einerseits Luftpumpen von entsprechender Leistungsfähigkeit zu construiren und anderseits der Schwierigkeiten Herr zu werden, die bei den Glasbläserarbeiten und namentlich beim Einschmelzen der Zuleitungsdrähte in das Glas zu besiegen waren. In dieser Richtung hat sich Dr. H. Geißler in Bonn wesentliche Verdienste erworben, und zwar sowohl durch die hohe Vollendung, zu welcher er es mit seinen Glasbläserarbeiten überhaupt brachte, als auch speciell durch die Herstellung einer ganz vorzüglichen Quecksilber-Luftpumpe im Jahre 1855.*) Die Anregung hierzu empfingen Geißler, Sprengel (der die nach ihm benannte Quecksilber-Luftpumpe im Jahre 1865 erfand), Alvergniat und Andere durch die zahlreichen Experimental-Untersuchungen über elektrische Entladungen in Gasen bei verschiedenen Verdünnungsgraden, welche von Abria, Grove, Gassiot, Plücker, Hittorf, de la Rive, Holtz, Crookes und vielen Anderen ausgeführt wurden. So hat z. B. Abria die Schichtung des elektrischen Lichtes in den allgemein bekannten Geißler'schen Röhren im Jahre 1843 entdeckt;**) nicht minder bekannt sind die schönen Experimente von Crookes mit der strahlenden Elektrodenmaterie und die Radiometer geworden u. s. w.

---

*) Die erste Quecksilber-Luftpumpe scheint der bekannte schwedische Gelehrte Emanuel v. Swedenborg (richtiger Swedbug) bereits im Jahre 1722 construirt zu haben.

**) Urbanitzky: Ueber die Schichtung des elektrischen Lichtes, Jahresbericht des naturwissenschaftlichen Vereines, Wien 1877; Zeitschrift für Elektrotechnik II, 289; Berichte der k. Akademie der Wissenschaften in Wien, LXXIII, LXXX, LXXXII.

Nachdem also in solcher Weise Luftpumpen geschaffen waren, mit deren Hilfe man die Luftverdünnung bis zu einem früher vollkommen unerreichbaren Grade treiben konnte, ging man neuerdings von verschiedener Seite daran, ein möglichst zweckmäßiges Glühmaterial aufzusuchen. Die vielfältigen in dieser Richtung durchgeführten Versuche wiesen übereinstimmend auf die Kohle. Mit Zugrundelegung dieses Materiales gelang es schließlich auch den Glühlampen in den Jahren 1877 bis 1880 eine Form zu geben, die sie zu ausgedehnter praktischer Anwendung befähigt. Swan, Maxim, Lane-Fox und Edison waren die Ersten, welche hiermit vor die Oeffentlichkeit traten. Bahnbrechend für die Glühlichtbeleuchtung wurde namentlich Edison, als er auf der Pariser Ausstellung im Jahre 1881 nicht nur mit einer allen Anforderungen entsprechenden Glühlampe, sondern mit einem bereits bis in die kleinsten Details ausgebildeten Beleuchtungs-Systeme erschien.

II.

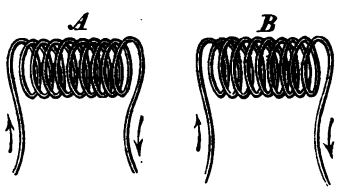
Elektrische Maschinen.

Zum leichteren Verständnisse der Construction und Function der elektrischen Maschinen dürfte es zweckmäßig sein, vorerst einige Worte über die **Induction** im Allgemeinen vorauszuschicken.

Werden (Fig. 7) zwei Drahtspiralen, von welchen die eine, B, von einem elektrischen Strome durchflossen

wird, die andere, A, aber stromlos ist, einander genähert oder von einander entfernt, so tritt während dieser Bewegung auch in der ursprünglich stromlosen Spirale A ein Strom auf. Dasselbe tritt auch dann ein, wenn bei unveränderter Lage der Spiralen zu einander der Strom in der Spirale geschlossen oder unterbrochen, rasch verstärkt oder geschwächt wird. Diese Art der Stromerregung, welche, wie bereits erwähnt, von Faraday entdeckt wurde, nennt man Induction und die so (in der Spirale A) erregten Ströme inducirte oder Inductionsströme. Be-

Fig. 7.

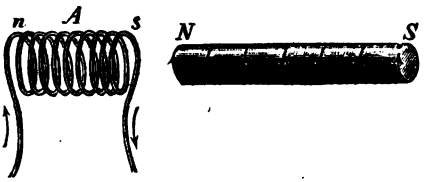


züglich der Richtung der letzteren hat das Experiment Folgendes ergeben: Der Inductionsstrom durchläuft seine Spirale A im selben Sinne, wie der inducirende Strom die seinige B, wenn beide Spiralen von einander entfernt werden (Fig. 7), wenn der inducirende Strom unterbrochen oder geschwächt wird. Es entstehen hingegen Inductionsströme entgegengesetzter Richtung, wenn die Spiralen einander genähert werden, der inducirende Strom geschlossen oder verstärkt wird.

Nun kann man sich aber nach dem Vorgange Ampère's jeden Magnet durch eine derartige stromdurchflossene Spirale B, ein Solenoid, ersetzt denken oder umgekehrt an Stelle eines Solenoides einen Magnetstab setzen. Hierbei

besitzt das Solenoid A (Fig. 8) an jener Stirnseite s den Südpol, an welcher der Strom in der Richtung der Uhrzeigerbewegung kreist, wenn diese Stirnseite dem Beschauer zugewandt ist. Kehrt hingegen der Beschauer sein Antlitz der anderen Stirnseite n zu, so sieht er hier den Strom entgegen der Uhrzeigerbewegung verlaufen, er blickt gegen den Nordpol. Umgekehrt hat man sich bei dem Magnetstabe die Ampère'schen Ströme am Südpole S in der Richtung der Uhrzeigerbewegung, am Nordpole N aber entgegen dieser Richtung verlaufend zu denken, wobei natür-

Fig. 8.



lich gleichfalls der betreffende Pol als gegen den Beschauer gekehrt zu denken ist.

Dies vorausgeschickt — ergibt sich nun für die stromlose (in sich geschlossene) Spirale A gegen den Magnetstab NS folgendes Verhalten: Es entstehen in der Spirale A Inductionsströme, wenn man Spirale und Magnet gegen einander oder von einander bewegt, wenn man im Stabe NS Magnetismus erregt oder vernichtet, verstärkt oder schwächt. Die jeweilige Richtung dieser durch magnetische Induction hervorgerufenen Ströme stimmt mit jenen durch elektrische Induction erregten überein, wenn man sich den Magnet NS (Fig. 8) durch das Solenoid B (Fig. 7) ersetzt denkt. Die in der Spirale A inducirten Ströme verlaufen

also in derselben Richtung, wie die an die Stelle des inducirenden Magnets gedachten Solenoidströme, wenn man Magnet NS und Spirale A von einander entfernt oder den Magnetismus des Stabes theilweise oder ganz vernichtet. Die in A inducirten Ströme werden, wie dies auch in der Figur 8 dargestellt ist, in entgegengesetzter Richtung verlaufen, wie die Solenoidströme, wenn Magnet und Spirale einander genähert werden, wenn man den ursprünglich unmagnetischen Stab N S magnetisch macht oder dessen bereits vorhandenen Magnetismus verstärkt. *)

Wenden wir nunmehr unsere Aufmerksamkeit den elektrischen Maschinen selbst zu. Die Zahl der gegenwärtig benützten Maschinenconstructionen ist eine ziemlich große; doch sieht man genauer zu, so findet man bald, daß eigentlich nur ganz wenige typische Formen existiren, alle übrigen Formen stellen nur mehr oder minder glücklich gewählte Modificationen dieser Typen dar. Unserem Zwecke wird es daher auch vollständig genügen, nur diese Typen in wenigen Repräsentanten kennen zu lernen. Hierbei mögen als solche Typen unterschieden werden die Ringmaschinen und die Trommelmaschinen.

1. Ringmaschinen.

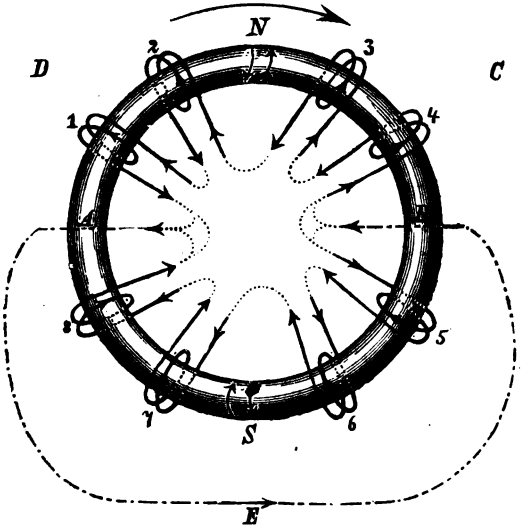
Den charakteristischen Bestandtheil dieser Maschinen bildet der Gramme'sche Ring; sein Bau und seine Wirkungsweise muß uns daher zunächst beschäftigen.

ANBS (Fig. 9) stellt einen ringförmigen Magnet dar, welcher bei N seinen Nordpol, bei S seinen Südpol

*) Alle diese Veränderungen im magnetischen Zustande von N S können leicht bewirkt werden, wenn man sich NS nicht als permanenten Stahlmagnet, sondern als Elektromagnet vorstellt. (Vergleiche Seite 6.)

besitzt. Auf den Ring ist eine Drahtspirale gewunden, welche sich längs des ersteren im Kreise herumbewegen läßt. Aus dem Anblicke der Figur ist leicht einzusehen, daß die Spirale auf dem Wege von A über N nach B, also in den Stellungen 1, 2, 3 und 4, vorwiegend dem Einflusse

Fig. 9.



des Nordpoles, auf ihrem Wege von B über S nach A, also in den Stellungen 5, 6, 7 und 8, hauptsächlich der Einwirkung des Südpoles im Ringmagnete ausgesetzt ist. Es ist ferner leicht einzusehen, daß die Spirale in den Stellungen bei A ebenso wie bei B, als von beiden Polen N und S gleichweit entfernt, also gleich stark beeinflußt, Ströme inducirt erhalten wird, die einander entgegengesetzt gerichtet sind, sich also aufheben müssen. Daraus folgt,

daß bei einem vollen Umlaufe der Spirale um den Ring im ersteren die Richtung der inducirenden Ströme zweimal wechseln muß, nämlich bei A und bei B.

Es bedarf keiner besonderen Begründung, daß diese Betrachtung nicht nur für eine, sondern für jede Spirale gilt, welche in der angegebenen Weise bewegt wird. Versteht man daher unter den in der Figur mit 1, 2, 3 ... bezeichneten Spiralen nicht die zeitlich aufeinanderfolgenden Stellungen einer Spirale, sondern ebenso viele gleichzeitig und in derselben Richtung sich bewegende Spiralen, als früher Stellungen angenommen wurden, so werden in den Spiralen 1, 2, 3 und 4 offenbar Ströme der einen, in den Spiralen 5, 6 7 und 8 der anderen Richtung inducirt werden müssen. Verbindet man jetzt je ein Ende der einen Spirale mit dem Anfange der nächsten, wie dies in der Figur durch punktirte Linien angedeutet ist, so bilden sämmtliche Spiralen eine einzige, um den ganzen Ring continuirlich gewickelte Spirale. Gleiche Intensität der Pole N und S, sowie auch gleiche Spulenanzahl in der oberen und unteren Hälfte des Ringes vorausgesetzt, treffen daher bei A und B Ströme gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Richtung zusammen, und die Gesammtwirkung sämmtlicher Inductionen ist gleich Null.

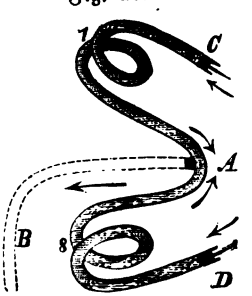
Läßt man jedoch die beiden Drahtenden bei A und ebenso bei B nicht, wie die punktirten Linien zeigen, einfach gegeneinanderstoßen, sondern verbindet man je zwei dieser Enden mit je einem Ende eines dritten Drahtes, wie dies die Strichpunktlinie versinnlicht, so wird dieser dritte Draht von einem Summationsstrome einer bestimmten Richtung durchflossen sein. Dieser dritte Draht stellt den äußeren Stromkreis der Maschine dar, und der ihn durchfließende Strom kann zu irgend einer Arbeitsleistung, also zur Er-

zeugung von Licht, zur Kraftübertragung, zu elektrochemischen Arbeiten 2c. verwendet werden.*)

Um die Wirkungsweise des Ringes ganz zu verstehen, erübrigt nun noch die Bestimmung der Richtungen, welche die in den Spiralen inducirten Ströme erhalten. Wir bekommen darüber Aufschlüsse durch Anwendung der Ampère'schen Betrachtungsweise. Bewegen sich die Spiralen in der Richtung des bei N gezeichneten großen Pfeiles, so ergibt sich zunächst die Richtung des in der Spirale 1 inducirten Stromes in folgender Weise: Die Spirale 1 nähert sich dem Nordpole, auf welchem die Ampère'schen Ströme in der Richtung entgegen der Bewegung eines Uhrzeigers

*) Das Summiren der Ströme zu einem den Leiter AEB in einer Richtung durchfließenden Summationsstrome dürfte durch nachstehendes Gleichniß klarer werden. Denkt man sich die beiden Drahtspiralen 1 und 8 durch mit Wasser gefüllte Schlangenrohre ersetzt, wie dies Fig. 10 zeigt, und an je einem Ende jedes Schlangenrohres einen Kolben in der Richtung der Pfeile auf das Wasser wirkend, so wird offenbar der Druck jedes Kolbens auf das Wasser sich bis A fortpflanzen; sind die Drücke bei C und D gleich stark, so werden sie sich wegen ihrer einander entgegengesetzten Richtung aufheben und das Wasser erhält gar keine Bewegung. Bringt man aber an der Vereinigungsstelle bei A ein Zweigrohr AB an, so wird aus beiden Schlangenrohren das Wasser in der Richtung der Pfeile durch das Rohr AB herausgetrieben. Dieses Gleichniß ist auch auf die Vereinigungsstelle bei B anwendbar. Nur müßte man hier an Stelle des Druckes auf das Wasser ein Ansaugen setzen. Hiermit erhielten wir für das Wasser einen ganz ähnlichen Kreislauf wie oben für den elektrischen Strom.

Fig. 10.



gedacht werden, wenn der Nordpol dem Beschauer zugewandt ist. Da es sich um die Wirkung des Stückes AN des Ringmagnetes, auf welchem sich die Spirale 1 bewegt, handelt, ist der Nordpol dann dem Beschauer zugekehrt, wann dieser sich bei C befindet. Die der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzte Richtung der Ampère'schen Ströme am Nordpole ist in diesem Falle durch den ungefiederten Pfeil im Ringe angegeben. Da nun in einer Spirale, welche sich einem Magnetpole nähert, ein Strom inducirt wird, der die entgegengesetzte Richtung besitzt wie der Ampère'sche Strom an dem in Rede stehenden Magnetpole, so muß in unserem Falle die Richtung des in der Spirale 1 inducirten Stromes durch einen von der inneren Begrenzung des Ringes zu dessen äußerem Umfange weisenden Pfeil bezeichnet werden. Diese Betrachtung bleibt für die Spirale 2 dieselbe und überhaupt für jede Spirale auf dem Ringstücke AN, unter der Voraussetzung, daß diese Spiralen sich in der Richtung von A nach N bewegen.

Um die Richtung der in den Spiralen 3 und 4 inducirten Ströme zu erfahren, muß sich der Beschauer in D aufstellen, um den Nordpol des Ringstückes NB gegen sich gewandt zu bekommen. Die der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzte Richtung der Ampère'schen Ströme ist dann durch den bei N gezeichneten gefiederten Pfeil angegeben. Da sich die Spiralen 3 und 4 vom Nordpole entfernen, erhalten sie Ströme inducirt, deren Richtung mit jener der Ampère'schen Ströme am genannten Pole übereinstimmt. Die Ströme in den Spiralen zwischen N und B sind also wie jene zwischen A und N gleichfalls von der inneren zur äußeren Peripherie des Ringes gerichtet.

Verfolgt man in ähnlicher Weise die Richtungen der Ampère'schen Ströme am Südpole in ihrer inducirenden

Wirkung auf die Spiralen 5, 6, 7 und 8, so findet man, unter Beachtung des Umstandes, daß am Südpole die Ampère'schen Ströme in der Richtung der Uhrzeigerbewegung kreisen, die in den Spiralen inducirten Ströme sämmtlich vom äußeren zum inneren Umfange des Ringes gerichtet.

Auch die Umkehrung der Stromrichtung in den Spiralen, welche A oder B passiren, ergibt sich nach dieser Betrachtungsweise ganz einfach. Eine in ihrer Bewegung eben bei A angelangte Spirale ist von N und S gleichweit entfernt und erfährt deshalb von beiden gleich starke Induction.

Ueberschreitet aber die Spirale den Punkt A oder B, so gewinnt die Einwirkung jenes Poles die Oberhand, welchem die Spirale sich näher befindet.

Kehren wir wieder zu der oben gemachten Annahme zurück, daß die Zahlen 1, 2, 3 .... in der Figur nicht aufeinanderfolgende Stellungen einer Spirale, sondern eine Reihe von gleichzeitig in derselben Richtung in Bewegung befindlichen Spiralen bedeuten, und verbinden wir die Enden der einzelnen Spiralen in der oben gedachten Weise, so ist folgendes Verhalten leicht einzusehen: Die Spiralen 1, 2, 3 und 4, oder allgemeiner, sämmtliche Spiralen auf dem Halbringe ANB bilden infolge ihrer durch punktirt gezeichnete Linien angedeuteten Verbindung eine einzige Spirale, welche von nur einem Strome als Summationsstrom sämmtlicher in den Theilspiralen inducirten Ströme in der vorhin bestimmten Richtung durchflossen wird. Dasselbe gilt für die Spiralen auf dem Halbringe ASB, nur ist hierbei die Stromrichtung eine entgegengesetzte. Der Draht AEB gestattet, die in den Spiralen des Ringes erzeugten Ströme nach außen zu leiten und zu verwenden,

vorausgesetzt, daß dieser Draht stets an der Vereinigungsstelle jener Spiralenpaare angesetzt wird, welche sich während ihrer Rotation gerade in der Linie AB, also in einer Linie befinden, welche auf die Verbindungslinie der beiden Pole N und S des Ringmagnetes senkrecht steht.

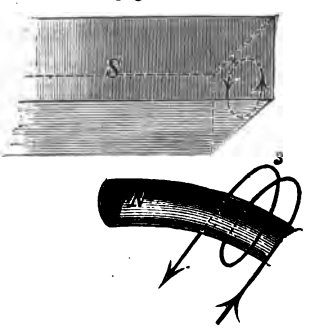
Bis hierher wurde die Wirkungsweise des Ringes betrachtet, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, wodurch der Ring bei N stets nordpolaren, bei S stets südpolaren Magnetismus erhält. Es wird dies dadurch bewirkt, daß entweder der Ring zwischen den Polen eines kräftigen permanenten oder eines Elektromagnetes angebracht ist. Hierdurch wird jenem Theile des Ringes, welcher dem Südpole des Magnetes am nächsten liegt, Nordmagnetismus, und jenem, welcher dem Nordpole am nächsten sich befindet, Südmagnetismus ertheilt.

Da die Drahtspiralen des Ringes sehr nahe an den Polen des Magnetes vorbeirotiren, müssen sie auch durch diese Ströme inducirt erhalten. Die Richtung dieser Ströme ist nach der Ampère'schen Vorstellungsweise leicht abzuleiten. So ergibt sie sich z. B. für die Spirale 3 (Fig. 11), als gleich jener Richtung, welche der durch den Ringpol N in derselben Spirale inducirte Strom hat. (Vergl. Fig. 9.) Man ersieht daraus, daß sich die inducirenden Wirkungen des Magnetpoles und des ihm gegenüberliegenden Ringpoles unterstützen.

Wir haben vorläufig immer vorausgesetzt, daß der Eisenring zwischen den Polen des Magnetes feststeht und nur die Drahtspiralen sich bewegen. Die praktische Durchführung dieser Anordnung würde jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen. Nun haben aber vielfache Versuche gezeigt, daß ein zwischen zwei Polen eines Magnetes sich drehender Ring aus weichem Eisen immer derart magnetisch

wird, daß gegenüber dem Südpole des feststehenden Magnetes im Ringe ein Nordpol, dem Nordpole des feststehenden Magnetes gegenüber im Ringe ein Südpol entsteht. Der rotirende Eisenring verhält sich also in Bezug auf die Stellung seiner Pole zu den Polen des feststehenden Magnetes gerade so wie ein feststehender Ring. Die Ringpole wechseln daher zwar nicht ihre räumliche Lage, rücken aber im Ringe, entgegengesetzt der Drehungsrichtung desselben, vor. Da aber der im Ringe inducirte Magnetismus

Fig. 11.



nicht augenblicklich entsteht und vergeht, so befinden sich die Ringpole nicht genau den Polen des feststehenden Magnetes gegenüber, sondern sind gegen erstere in der Drehungsrichtung des Ringes etwas verschoben. Liegen deshalb die Pole des feststehenden oder inducirenden Magnetes in einer Verticalen, so schließt die Verbindungslinie der Ringpole mit der Verticalen einen bestimmten Winkel ein.

Wie früher gezeigt wurde, müssen die Punkte A und B (Fig. 9), an welchen der Ableitungsdraht mit den Drahtspiralen in leitende Verbindung gesetzt wird, in einer Linie liegen, die senkrecht auf der Verbindungslinie der Ringpole

steht. In unserem Falle wird daher die Verbindungslinie der Stromableitungspunkte mit der Horizontalen einen spitzen Winkel einschließen müssen.

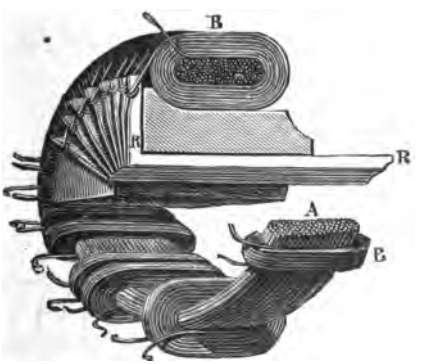
Bei Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse wird man die Drahtspiralen unmittelbar auf den Eisenring wickeln und diesen in Drehung versetzen können, ohne die obige Erklärung der Wirkungsweise des Gramme'schen Ringes ändern zu müssen.

Gramme'sche Maschinen. Die praktische Ausführung der Ring-Armatur dieser Maschinen ist in Fig. 12 dargestellt. Der Eisenring selbst ist nicht aus einem massiven Stücke gebildet, sondern durch ein Bündel gut ausgeglühter Eisendrähte ersetzt. Es findet dies darin seine Begründung, daß ein derartiger Ring rascher Magnetismus annimmt und verliert wie ein massiver. Bei A B sieht man eine angefangene Drahtspirale, hierauf folgen mehrere fertige Spiralen und der obere Theil der Figur zeigt die vollendete Ring-Armatur. Die Spiralen bestehen aus Kupferdraht, der sorgfältig übersponnen ist, um die Windungen von einander und von den Eisendrähten zu isoliren. Die Zahl der Windungen und die Dicke der Drähte richtet sich nach dem Zwecke, zu welchem die Maschine bestimmt ist. Die Verbindung der Spiralen wird derart hergestellt, daß immer das Ende einer Spirale und der Anfang der benachbarten auf einem in der Ebene des Ringes radial angebrachten Kupferstreifen R angelöthet werden. Die Kupferstreifen sind dann um einen rechten Winkel eingebogen, durchsetzen den Ring und ragen auf der anderen Seite desselben hervor; die Zahl der Streifen ist natürlich gleich der Anzahl der Spiralen. Erstere sind von einander durch Isolirmittel getrennt und bilden zusammen einen Hohlcylinder, in dessen Mitte die stählerne Rotationsaxe, von den Kupferstreifen gleich-

falls isolirt, befestigt ist. Der Raum zwischen den Kupferstreifen und den Drahtspiralen wird durch einen Holzring ausgefüllt.

Zur Ableitung der im Ringe inducirten Ströme sind zwei Drahtbürsten am Gestelle der Maschine derart befestigt, daß sie auf dem Mantel jenes Cylinders schleifen, welcher durch die Kupferstreifen R R gebildet wird. Die Lage dieser Ableitungsbürsten am Cylinder ist die der

Fig. 12.



Enden des Ableitungsdrahtes (äußeren Stromkreises), wie dies bei der Erklärung des Principes der Gramme'schen Maschine bereits angegeben wurde.

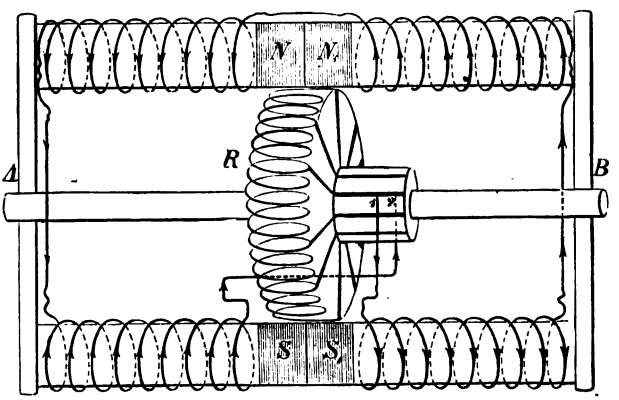
Diese Maschinen liefern einen ununterbrochenen (continuirlichen) Strom einer Richtung. Es kommt dies daher, daß, trotzdem nur einzelne Ströme in den Spiralen inducirt werden, einerseits der Ring so rasch rotirt, daß man die Aufeinanderfolge der einzelnen Ströme oder Stromimpulse nicht mehr getrennt wahrnehmen kann, und anderseits die Bürsten schon die nächsten Kupferstreifen auf dem

früher besprochenen Cylinder (Stromsammler) berühren, wenn sie die vorhergehenden noch nicht verlassen haben.

Bei den ersten von Gramme gebauten Maschinen rotirte der Ring zwischen den Polen eines permanenten Stahlmagnetes von Hufeisenform, und zwar in der Ebene desselben.

Die zu industriellen Zwecken gebauten Maschinen

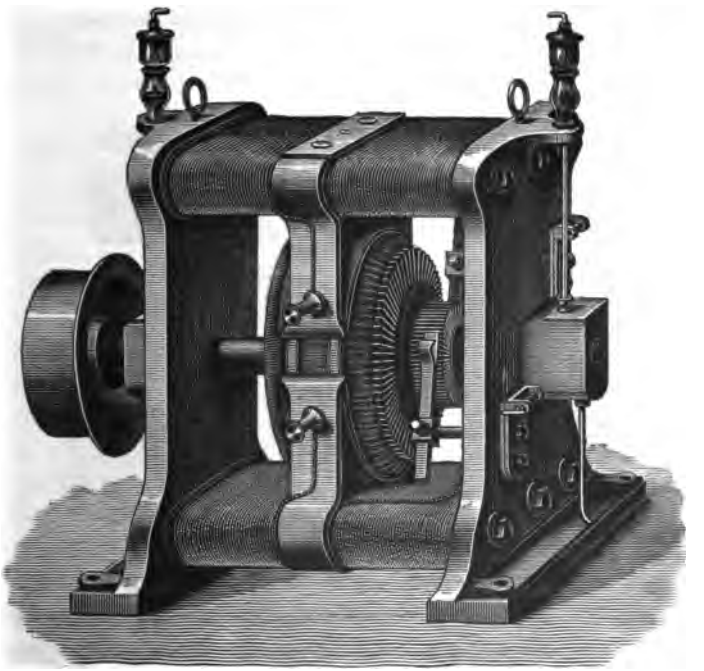
Fig. 13.



erhalten jedoch an Stelle der permanenten Stahlmagnete viel kräftiger wirkende Elektromagnete, deren Erregung unter Anwendung des dynamischen Principes erfolgt. Eine derartige Maschine ist in Figur 13 schematisch, in Figur 14 in perspectivischer Ansicht dargestellt. Aus der schematischen Zeichnung ist nach dem bisher Gesagten die Stromführung leicht zu entnehmen. Die perspectivische Ansicht zeigt das neue Modell einer Lichtmaschine. An zwei gußeisernen, verticalen Ständern sind die Schenkel der Elektromagnete horizontal befestigt. Je zwei gleichnamige Pole stoßen in

der verticalen Mittellinie der Maschine zusammen und sind daselbst mit je einem Polschuhe versehen. Diese umfassen den Ring an dessen äußerem Umfange derart, daß nur etwa ein Drittel unbedeckt bleibt; möglichst viele Drahtwindungen

Fig. 14.

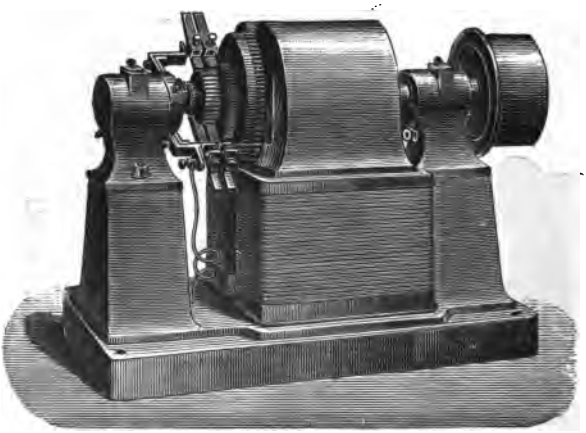


der Einwirkung der Induction auszusetzen, ist der Zweck dieser Anordnung. Der Ring sitzt auf einer stählernen Axe, deren Lager an den verticalen Ständern befestigt sind. An letzteren sind auch die Oelgefäße zum Schmieren der Lager angebracht. Die Riemenscheibe (auf der linken Seite der

Figur) dient zum Antriebe der Maschine durch einen Motor. Die beschriebene Maschine ist für fünf Bogenlampen bestimmt, hat ohne Riemenscheibe eine Länge von 0·623 m, eine Höhe von 0·538 m und ein Gewicht von 360 kg.

In Figur 15 ist das neueste Modell (type superieur, weil der Ring im obersten Theile der Maschine angeordnet ist) abgebildet. Die Maschine dieser Form ist dadurch aus-

Fig. 15.



gezeichnet, daß die Grundplatte mit den Trägern der Axenlager, den Eisenkernen und Polschuhen der Elektromagnete zusammen ein einziges Gußstück bildet. Auch wurde, zum Vortheile der Maschine, der Holzring in der Armatur älterer Construction durch ein Bronzekreuz ersetzt, dessen Arme bis zu dem aus weichem Eisen gebildeten Kerne des Ringes eindringen. Hierdurch gewinnt die Ring-Armatur nicht nur an Festigkeit, sondern es wird dadurch auch eine bessere Kühlung derselben erreicht.

Die **Flachringmaschine von Gülcher** ist speciell den von diesem Erfinder auch construirten Lampen angepaßt. Der Construction und Schaltungsweise dieser entsprechend muß die Lichtmaschine derart disponirt sein, daß sie im Stande ist, Elektricität von geringer Spannung, aber großer Quantität zu geben. Sonach mußte Gülcher den inneren Widerstand seiner Maschine so weit als möglich zu verringern trachten. Die nachstehende Beschreibung der Maschine wird zeigen, in welcher Weise ihm dies gelungen ist.

Fig. 16 gibt ein Schema und Fig. 17 eine perspectivische Ansicht der Maschine. Die Elektromagnetschenkel, acht an der Zahl, haben eine flache Form und sind mit Drahtseilen umwunden, da dicke Kupferdrähte sich schwerer winden lassen. Die gleichnamigen, einander gegenüberstehenden Pole sind durch ⊓ förmige Polschuhe (2, 2, Fig. 16) mit einander verbunden, welche den zwischen den Magnetpolen rotirenden Ring (1, 1) in der Art umgeben, daß auch dessen Seitenflächen einer kräftigen Induction unterliegen. Um den aufgewickelten Draht möglichst auszunützen und die Erwärmung zu vermindern, ist der Querschnitt des Ringes keilförmig gestaltet. Die Anordnung der Spulen und der Bau des Ringes bewirken überdies noch auf mechanischem Wege eine ausreichende Abkühlung. Wie die perspectivische Ansicht erkennen läßt, bilden die einzelnen Spulen mit den zwischengesetzten Keilen eine Reihe von Kammern, welche im Vereine mit den Polschuhen der Magnete einen förmlichen Ventilator darstellen.

Die Polschuhe sind im Kreise herum abwechselnd nord- und südmagnetisch, wodurch die Maschine vier magnetische Felder erhält. Im Ringe müssen deshalb auch vier Ströme inducirt werden, die, durch Parallelschaltung vereinigt, nur einen Strom geben. Es ist wohl klar, daß hierdurch der

Fig. 16.

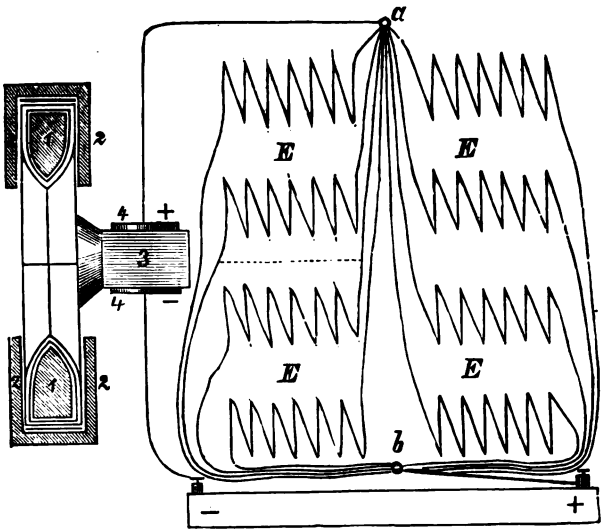
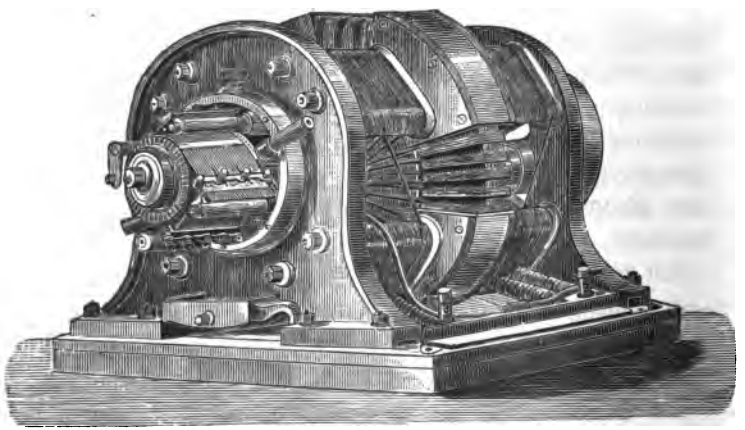


Fig. 17.



Widerstand des Ringes bedeutend vermindert wird, da die inducirten Ströme bei dieser Anordnung nur einen kleinen Theil der Armaturwindungen zu durchlaufen haben. Die Durchführung des dynamischen Principes läßt Fig. 16 erkennen. Von dem auf der Axe 3 aufgesetzten Stromsammler 4 fließt der Strom nach a und vertheilt sich von hier aus in die parallel geschalteten Windungen der Elektromagnete E E. Bei b werden sämmtliche Stromzweige wieder vereinigt und der Gesammtstrom fließt von der Klemme + in den äußeren Stromkreis, aus welchem er durch die Klemme — wieder zum Stromsammler zurückkehrt. Letzterer zeichnet sich durch eine vortheilhafte Breite und dadurch aus, daß er leicht ausgewechselt werden kann.

Sowohl in der Construction des Ankers als auch in jener des Commutators weicht die **Flachringmaschine von Brush** von den bisher beschriebenen ab. Der Ring hat seiner äußeren Form nach eine gewisse Aehnlichkeit mit dem Pacinotti'schen Ringe. Die horizontal gelegten Elektromagnetschenkel tragen an ihren dem Ringe zugewandten Endflächen lappenförmige Polschuhe, so daß die inducirende Wirkung von beiden Seiten her auf den Ring ausgeübt wird. Je zwei einander gegenüberstehende Magnete besitzen natürlich gleiche Polarität.

Der Ring selbst besteht aus einem massiven Eisenkerne, der sorgfältig abgedreht ist und durch einen tief eingeschnittenen Canal von rechteckigem Querschnitte fast in zwei parallele Hälften zerlegt wird. Senkrecht auf diesen durch den ganzen Ring laufenden Canal ist eine bestimmte Anzahl radial gestellter Ausschnitte gemacht, so daß der Ring eine zahnradartige Gestalt erhält. In Fig. 18 ist ein Segment dieses Ringes dargestellt. Die einzelnen Zähne sind neuerdings durch drei zum Umfange des Ringes parallel verlaufende

Canäle durchschnitten. In die radialen Ausschnitte zwischen den Eisenzähnen werden die Inductionsspulen gewunden. Der Zweck der vielen Canalisirungen des Ringes ist einerseits der, den Eisenkern leichter zu machen und die Eisenmassen zu theilen, wodurch das Auftreten der Foucault'schen Ströme vermindert wird, anderseits ist damit eine gute Ventilation erzielt, die den Ring vor starker Erwärmung schützt.

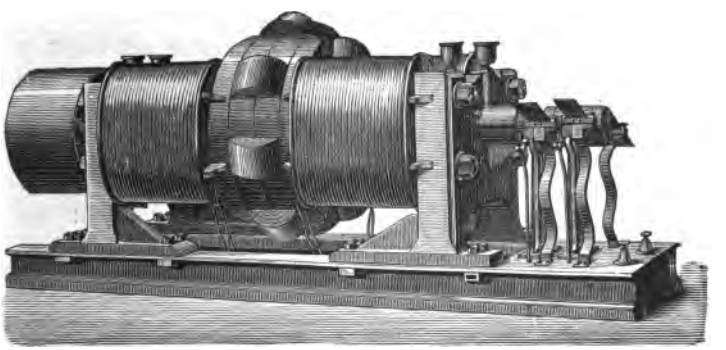
Fig. 18.

Die Zahl der radialen Ausschnitte, beziehungsweise der in denselben angebrachten Drahtspulen hängt von der Bestimmung der Maschine ab. Bei der in Fig. 19 abgebildeten Sechzehn-Licht-Maschine (d. h. Maschine zur Speisung von 16 hintereinander in einen Stromkreis geschalteten Voltabogenlampen) sind acht Spulen angebracht. Die Spulen sind alle im selben Sinne gewickelt. Das innere Drahtende jeder Spule ist mit dem inneren Drahtende der ihr diametral gegenüberliegenden Spule verbunden, während die äußeren Drahtenden zum Commutator führen. Hier stehen sie mit zwei einander ebenfalls diametral gegenüberliegenden Seg-

menten des von allen übrigen Maschinentheilen sorgfältig isolirten Commutators in Verbindung; die Weiterleitung der Ströme besorgen Schleiffedern.

Der Commutator der Brush-Maschine ist von jenem anderer Maschinen wesentlich verschieden. Die bisher betrachteten Ringmaschinen bedurften überhaupt keines Commutators (d. h. Stromwenders), sondern nur eines Stromsammlers, da sie infolge ihrer Construction sofort gleich-

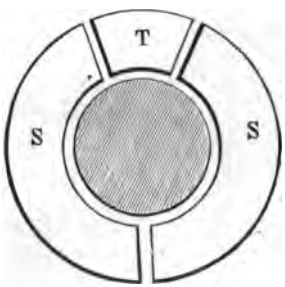
Fig. 19.



gerichtete Ströme gaben, was bei der Brush-Maschine nicht der Fall ist; diese liefert vielmehr wegen der eigenartigen Verbindung der Spulen unter einander zunächst Wechselströme. Der Commutator besteht aus so vielen auf der Rotationsaxe isolirt aufgesetzten Kupferringen, als Spulenpaare am Ringe vorhanden sind. Fig. 20 stellt schematisch einen Schnitt durch einen solchen Ring dar. Die drei Segmente S S und T des Ringes sind durch Luftzwischenräume von einander isolirt. Die Schleifsegmente S S dienen zur Stromableitung, das von ihnen isolirte $^1/_8$ des

Commutatorumfanges bedeckende Segment T hat jedoch den Zweck, die Inductionsspulen immer dann aus dem Stromkreise auszuschalten, wenn sie die neutrale Zone, also den Zwischenraum zwischen beiden Pollappen passirt. Eine derartige Stellung und somit Ausschaltung aus dem Stromkreise tritt bei jeder vollen Umdrehung der Armatur für jede Spule zweimal ein; folglich wird jede Spule nur $^3/_4$ der Umlaufsdauer von Strömen durchflossen. Dies bringt den Vortheil mit sich, daß nicht der Influenzirung durch die Elektromagnete unterworfene Spulen aus dem Stromkreise ausgeschaltet werden und daher in diesen die Wärmeerregung durch den Strom ausgeschlossen wird. Je zwei solcher Ringe werden von zwei einander diametral gegenüberstehenden Bürsten berührt. Die Segmente der Ringe sind mit den Segmenten ihrer Nachbarringe verbunden. Wegen der zeitweisen Ausschaltung der Spulen aus dem Stromkreise ist es erforderlich, die Schleiffedern gut einzustellen, was durch concentrisches Verschieben der Federnpaare und darauffolgendes Feststellen erreicht wird. Die Träger der Federn sind aus gewelltem Kupferbleche hergestellt, damit sie beim Einstellen der ersteren leichter nachgeben können.

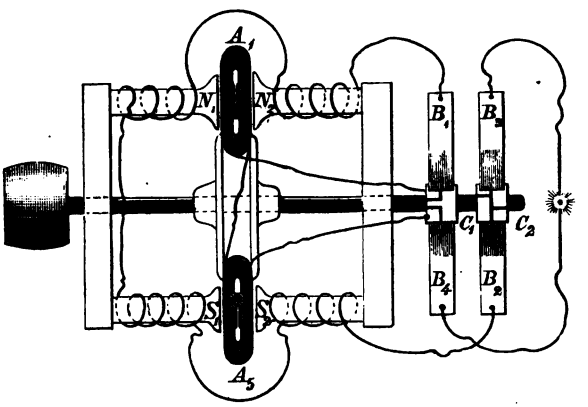
Fig. 20.



Die Schaltung in der Maschine von Brush ist aus Fig. 21 zu ersehen und nach der von Richter in der »Elektrotechnischen Zeitschrift« (Bd. III) gegebenen Darstellung folgende: Die Spule A_1 und die ihr entgegengesetzte A_5 sind mit den Segmenten des ersten Commutatorringes verbunden;

Spule A_3 und A_7 mit denen des zweiten; Spule A_2 und A_6 mit denen des dritten und Spule A_4 und A_8 mit denen des vierten. Die Ringe 1 und 2 bilden den ersten und die Ringe 3 und 4 den zweiten Commutator. Die obere Bürste des ersten und die untere des zweiten Commutators führen zu den Schenkeln, die anderen zu der Leitung. Hiernach ist der Stromlauf, wenn die Spulen A_1 und A_5 sich zwischen

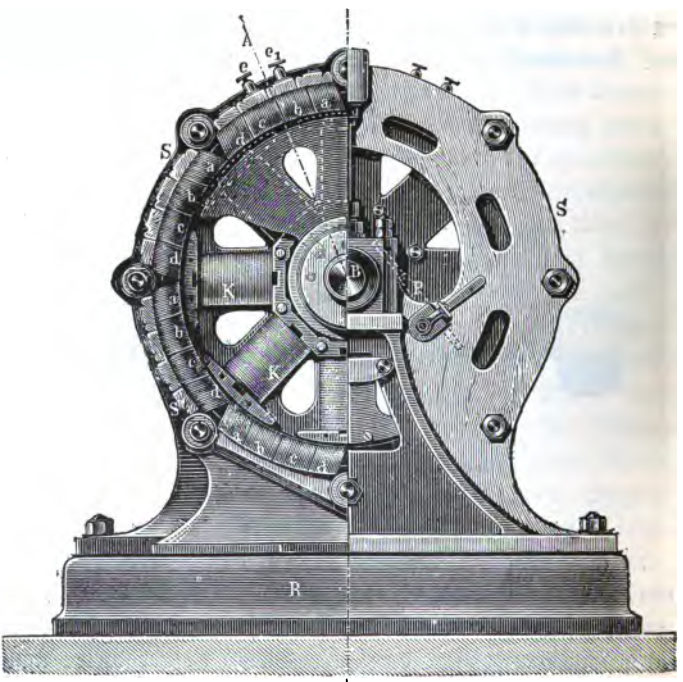
Fig. 21.



den beiden Magnetpolen befinden, folgender: Von der Spule A_1 ausgehend, gelangt der Strom in den Commutator C_1, von diesem durch die Bürste B, der Reihe nach in die Drahtwindungen der sämmtlich hintereinander geschalteten Elektromagnetschenkel N_2 N_1 S_1 S_2, dann zur Bürste B_2 und in Commutator C_2, von diesem durch die Bürste B_3 in den äußeren Stromkreis und kehrt endlich durch die Bürste 4 und den Commutator C_1 zu der mit der Spule A_1 in Verbindung stehenden Spule A_5 in den Ring zurück.

Die Sechzehn-Licht-Maschine macht bei Speisung von 16 Lampen 770 Umdrehungen pro Minute und verbraucht dabei an Betriebskraft $15^1/_2$ HP; die elektromotorische Kraft

Fig. 22.

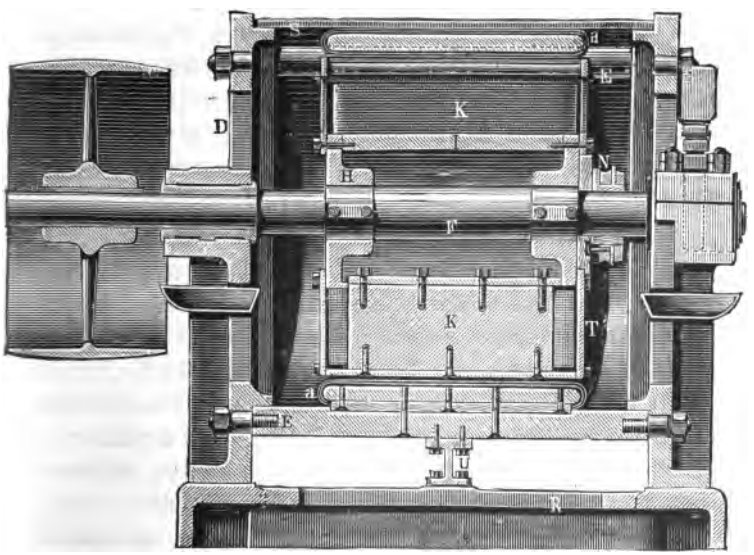


ist dann gleich 839 V und die Stromstärke 10 A. Natürlich wurden von Brush auch Maschinen größerer Leistungsfähigkeit gebaut, so z. B. eine, mit welcher man 40 Lampen in einem Stromkreise betreiben kann. Diese erfordert einen Kraftaufwand von 35 HP und entwickelt einen Strom,

dessen elektromotorische Kraft 2200 V und dessen Stromstärke 10 A beträgt.

Die **Wechselstrommaschine von Gramme** ist in den Figuren 22 und 23 im Quer- und Längsschnitte abgebildet. Auf einem gußeisernen Sockel R sind zwei ebenfalls guß-

Fig. 23.



eiserne Seitenständer D von nahezu kreisförmiger Gestalt befestigt. Acht Messingstangen E und eine Eisentraverse U dienen dazu, die Festigkeit des Gestelles zu erhöhen. An diesem Gestelle sind die Drahtspulen a b c d .... der Armatur mit ihren aus einem oder mehreren Stücken bestehenden Eisenkernen befestigt. Der ganze Spulencylinder ist außen von einem Holzmantel S umgeben. T ist eine

Stahlaxe, auf welcher mittelst der gußeisernen Muffen H und achtseitiger Platten die acht Elektromagnete angebracht sind. Jeder derselben ist mit einem Polschuhe aus weichem Eisen versehen, der an der Außenfläche abgerundet ist und über den Elektromagnet hinausragt, so daß zwischen den Polschuhen zweier benachbarter Magnete nur ein kleiner Zwischenraum bleibt. Zwei dünne Scheiben T, an den einzelnen Magneten befestigt, schützen diese gegen die Wirkung der Centrifugalkraft. Ferner sind auf der Rotationsaxe bei N zwei Scheiben isolirt aufgesetzt und auf diesen schleifen die Bürsten P. Sie dienen dazu, um einen Strom in die Elektromagnete zu leiten, den eine kleine Gramme'sche Maschine für gleichgerichtete Ströme, irgend eine andere Elektricitätsquelle oder die Maschine selbst liefert.

Die Elektromagnete sind abwechselnd nach rechts und nach links gewickelt und alle in den Stromkreis der erregenden Elektricitätsquelle eingeschaltet. Die Wirkung eines durch alle Windungen kreisenden Stromes wird also derart sein, daß, wenn ein Magnet den Drahtwindungen a b c d .... seinen Südpol zuwendet, die rechts und links benachbarten Magnete den Nordpol nach außen kehren, oder mit anderen Worten, die im Kreise aufeinander folgenden Elektromagnete sind abwechselnd nord- und südpolarisch.

Die in acht Gruppen zu je vier Spulen zusammengestellten Drahtwindungen der Armatur sind nicht zu einer einzigen Drahtspirale, wie im gewöhnlichen Gramme'schen Ringe, verbunden, sondern die Drähte jeder Spule führen zu eigenen auf dem Holzmantel befestigten Klemmen $e\,e_1$. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, von der Maschine 32 getrennte Stromkreise zu erhalten.

Die Wirkungsweise der Maschine ist nun leicht zu verstehen. Da acht Gruppen von Spulen in der Armatur

und gleichfalls acht Elektromagnete auf der Rotationsaxe angebracht sind, so muß in jedem Momente der Drehung der letzteren die Inductionswirkung auf die einzelnen Gruppen unter einander gleich stark sein, denn wenn z. B. einer Spulengruppe ein Magnet gerade gegenübersteht, so muß eben wegen der Gleichheit der Gruppen- und Magnetzahl auch jeder anderen Gruppe ein Magnet gerade gegenüberstehen. Die Stärke der inducirten Ströme wird also jederzeit in allen Spulengruppen gleich sein, aber die Richtung der Ströme muß in den einzelnen Gruppen wechseln, da ihnen verschiedene Magnetpole gegenüber zu stehen kommen. Es werden in den Gruppen 1, 3, 5 und 7 Ströme in der einen Richtung, in den Gruppen 2, 4, 6 und 8 Ströme in der entgegengesetzten Richtung circuliren. Schreitet die Drehung der Elektromagnete fort, so kommt zu jener Spulengruppe, wo früher ein Südpol war, ein Nordpol und umgekehrt: es werden jetzt die Spulengruppen 2, 4, 6 und 8 Ströme in der ersten Richtung und die Gruppen 1, 3, 5 und 7 Ströme in der zweiten Richtung inducirt erhalten.

Ist jede einzelne Spule durch einen Bogen geschlossen, so erhält man demnach 32 getrennte Stromkreise und in jedem derselben circulirt ein Strom wechselnder Richtung. Will man nur vier Stromkreise erhalten, so hat man die erste, dritte, fünfte und siebente Spule a für den einen Pol und die zweite, vierte, sechste und achte Spule a für den zweiten Pol zu verbinden; ferner die erste, dritte, fünfte und siebente Spule b für den einen Pol des zweiten Stromkreises und die zweite, vierte, sechste und achte Spule b für den anderen Pol desselben zu verbinden; verfährt man in gleicher Weise mit den Spulen c und d, so erhält man die gewünschten vier Stromkreise.

Wenn nämlich, wie früher erwähnt, die Stellung der einzelnen Magnete zu den entsprechenden Spulengruppen bei allen Paaren dieselbe ist, so muß auch die Stellung der Magnete zu den einzelnen Spulen gleicher Bezeichnung dieselbe sein, das heißt, wenn z. B. in einer Gruppe der Spule a ein Magnet gerade gegenübersteht, so muß auch in allen anderen Spulengruppen den Spulen a ein Magnet gegenüberstehen. Da aber die Magnete abwechselnd ihre Nord- und Südpole den Spulen zukehren, so muß auch in den im Kreise aufeinander folgenden Spulen a abwechselnd ein Strom in der einen und in der anderen Richtung inducirt werden. Es werden folglich in der ersten, dritten, fünften und siebenten Spule a Ströme in der einen Richtung und in der zweiten, vierten, sechsten und achten Spule a Ströme in der entgegengesetzten Richtung laufen. Die Spulen der geraden Zahlen mit einem Pole, die Spulen der ungeraden Zahlen mit dem anderen Pole verbunden und die beiden Pole durch einen Schließungsbogen vereinigt geben einen Stromkreis, in welchem für einen gegebenen Moment ein Strom von bestimmter Richtung läuft. Im nächsten Momente der Drehung kommen den Spulen die den früher ihnen gegenüber gestandenen Magnetpolen entgegengesetzten Magnetpole gegenüber, daher wird jetzt in der ersten, dritten, fünften und siebenten Spule ein Strom circuliren, der die entgegengesetzte Richtung des früheren, also die Richtung des früher in der zweiten, vierten, sechsten und achten Spule kreisenden Stromes hat und ebenso wird sich jetzt in den letztgenannten Spulen der Strom umgekehrt haben. Im ganzen Schließungskreise muß deshalb ebenfalls die Stromrichtung die entgegengesetzte des früheren Stromes sein. Dasselbe gilt für die Spulen, welche mit b bezeichnet sind, dasselbe für die mit c und dasselbe für die mit d

bezeichneten. Man erhält daher vier getrennte Stromkreise, in deren jedem Wechselströme circuliren; die Ströme in den so erhaltenen vier Stromkreisen sind gleich stark.

Die in den Figuren 22 und 23 abgebildete Maschine speist 16 Jablochkoff-Kerzen zu je 100 Carcelbrenner Lichtstärke und erfordert zu ihrem Betriebe einen Kraftaufwand von 16 HP. Sie kostet inclusive einer kleinen Hilfsmaschine zum Anregen der Magnete 10.000 Frcs., ist 0·89 m lang, 9·76 m breit und 0·78 m hoch. Ihre Maximalgeschwindigkeit beträgt 600 Touren pro Minute und ihr Gesammtgewicht 650 kg. Es werden derartige Maschinen nicht nur von den angegebenen Dimensionen gebaut, sondern auch solche, welche nur für vier oder sechs Lichter bestimmt sind.

Die Erregung der Elektromagnete durch Ströme, welche von einer Erregermaschine, die von der Wechselstrommaschine vollkommen unabhängig ist, erzeugt werden, führte mannigfache Uebelstände mit sich. Gramme hat daher in einer neueren Construction die Erreger- und Wechselstrommaschine zu einem Ganzen vereinigt. Die so erhaltene Maschine, **Auto-Excitatrice** genannt, ist in den Figuren 24 und 25 in perspectivischer Ansicht und in einem Querschnitte dargestellt. Hierbei ist in Figur 24 auf der linken Seite die eigentliche Lichtmaschine I, eine Wechselstrommaschine der vorhin beschriebenen Construction, auf der rechten Seite eine Gramme'sche Gleichstrommaschine E (als Erregermaschine) zu sehen. Der Querschnitt durch letztere, in Figur 25, läßt erkennen, in welcher Weise die Anordnung der Elektromagnete von der sonst üblichen abweicht. Die Klemmen A und B (Fig. 24) stellen eine Unterbrechung des Stromkreises der Erregermaschine dar, welche gestattet, durch Einschalten verschiedener Widerstände (R) den magnetisirenden Strom für die Wechselstrommaschine zu reguliren.

Die von Zipernowsky construirte **Wechselstrommaschine der Firma Ganz & Co.** unterscheidet sich von der

Fig. 24.

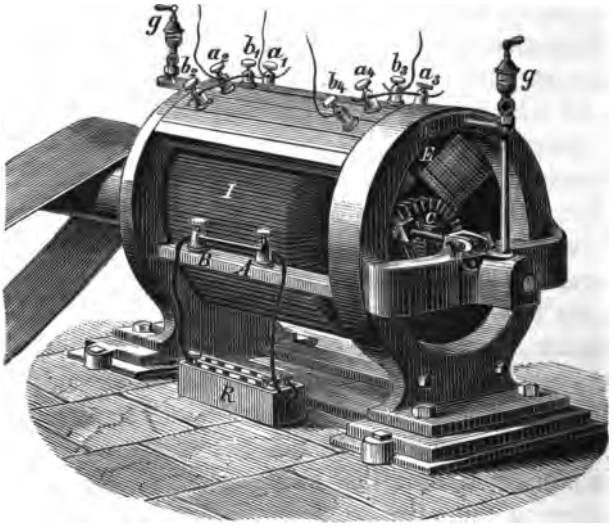
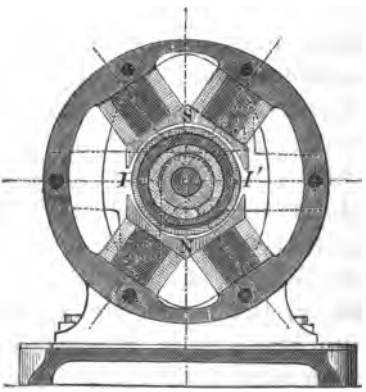
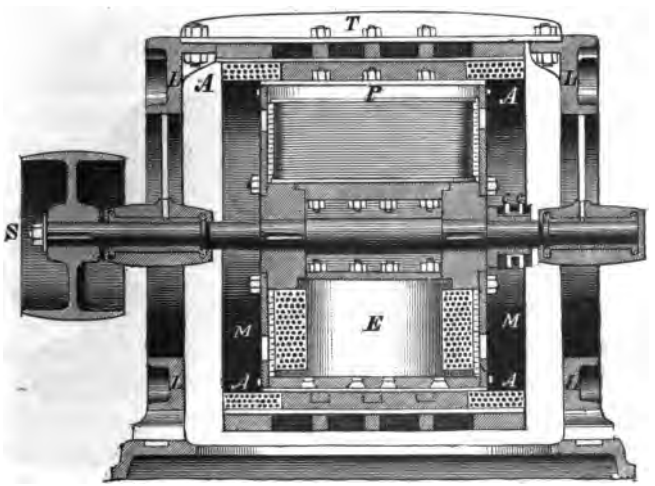


Fig. 25.



Gramme'schen Wechselstrommaschine hauptsächlich nur durch die Anordnung der Armaturspulen AA (Fig. 26). Während nämlich Gramme dieselben so anordnet wie im Gramme'schen Ringe, liegen sie bei der Wechselstrommaschine von Ganz & Co. um 90 Grade verdreht, d. h. also mit ihren Stirnseiten den inducirenden Elektromagneten

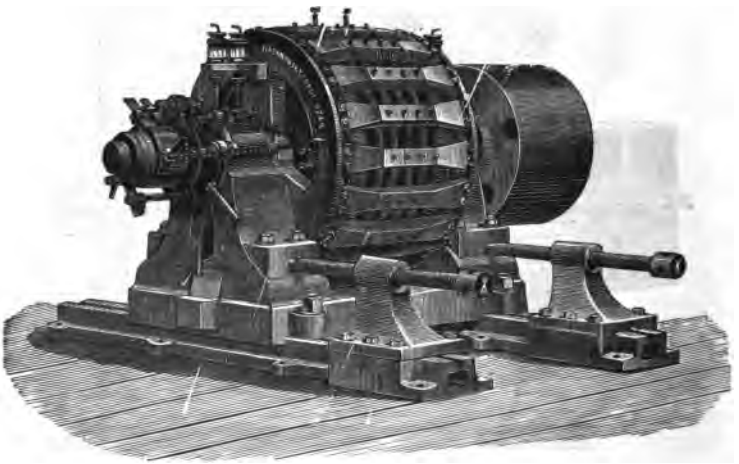
Fig. 26.



zugekehrt. Als Kerne der Armaturspulen kommen gerippte zickzackförmige, mit Holzstücken ausgepolsterte Guß- oder Schmiedeeisen-Sectoren zur Verwendung. Die Windungen der Spulen werden hintereinander oder parallel zu einander zu einem Stromkreise oder zu mehreren verbunden. Die schützende Verkleidung der zu einem Ringe vereinigten Spulen besteht aus dicken Papierplatten, die durch schmale Holzringe zusammengehalten werden; in die durch die letzteren

auf dem Umfange des Ringes gebildeten Rinnen windet man dünne, gut ausgeglühte Eisendrähte, oder füllt sie durch dünne Eisenringe aus. Hierdurch soll nicht nur die Festigkeit erhöht, sondern auch die Inductionswirkung in den Spulen verstärkt werden. Die Befestigung des Spulenringes an die Lagerständer L vermitteln die Traversen T, an welche gleichzeitig auch die Armaturspulen angeschraubt sind.

Fig. 27.



Figur 27 ist die perspectivische Ansicht einer selbsterregenden Wechselstrommaschine der Firma Ganz & Co., und zwar einer Maschine mit 18 Magnetpolen. Auch hier wird der in den feststehenden Spulen inducirte Strom von fixen Klemmen abgeleitet, während die Elektromagnete rotiren. Ein kleiner Theil des Wechselstromes wird abgezweigt, durch den Commutator gleichgerichtet und zur Erregung der Elektromagnete benützt.

Diese Wechselstrommaschine diente auch als Vorbild für die später von derselben Firma construirte **vielpolige Dynamomaschine** (Fig. 28 und 29), welche sich jedoch von der ersteren dadurch unterscheidet, daß der äußere Spulenring durch einen Gramme'schen Ring ersetzt wurde. Ferner sind die sechs Elektromagnetkerne mit dem Ständer für das Riemenscheibenlager aus einem Stücke gegossen, während der Ring seitlich gefaßt wird und über die Elektromagnete hinweg rotirt.

Ein Nachtheil, welcher einer großen Anzahl von Maschinen-Constructionen anhaftet, besteht darin, daß die Elektromagnete verhältnißmäßig große Theile der Polflächen nicht den Armaturdrähten, auf welche sie ja inducirend wirken sollen, zuwenden. Die Folge davon ist, daß alle von diesen gewissermaßen freien Flächen ausgehenden magnetischen Kraftlinien für die Stromerzeugung verloren gehen. Der in dieser Weise vergeudete Magnetismus soll, nach v. Hefner-Alteneck, bis zu 24% des gesammten erzeugten Magnetismus bei einzelnen Maschinen betragen.

Erwägungen solcher Art waren es, welche die Firma **Siemens & Halske** zur Construction einer **Ringmaschine mit Innenpolen***) auch zur Erzeugung von Gleichströmen führten, während Wechselstrommaschinen ähnlicher Construction, z. B. die Gramme'schen Wechselstrommaschinen, schon früher gebaut wurden. Die Maschine von Siemens & Halske ist in den Figuren 30 und 31 abgebildet und stellt eine Ringmaschine dar, bei welcher der Durchmesser des Ringes erheblich vergrößert und der letztere selbst derart

*) Beschrieben: „Elektrotechnische Zeitschrift" vom April 1887; die vielpolige Dynamomaschine von Ganz & Co. ist beschrieben in: „Zeitschrift für Elektrotechnik" und im „Centralblatt für Elektrotechnik", gleichfalls vom April 1887.

Fig. 28.

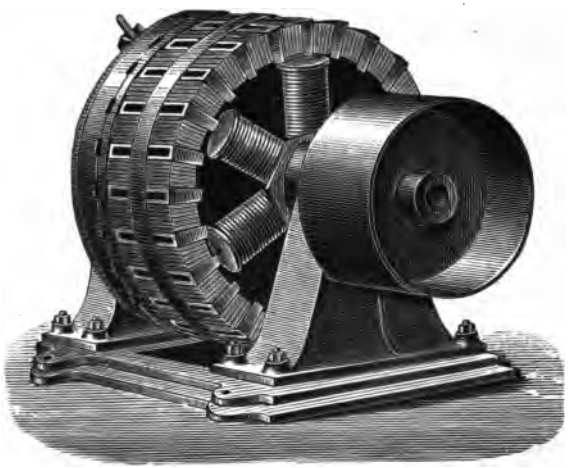
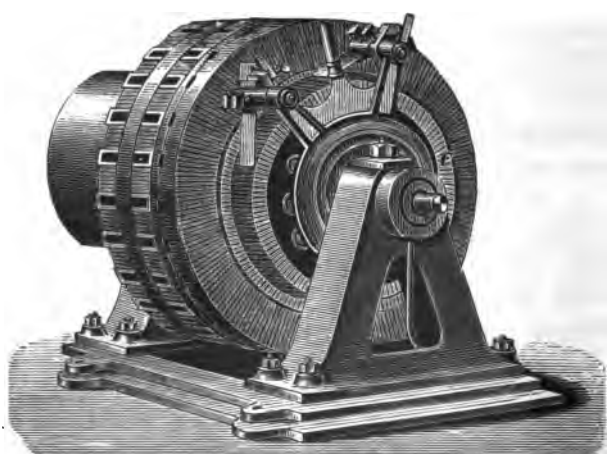


Fig. 29.



auf der Welle befestigt ist, daß er in seinem Innenraume hinreichenden Platz zur Aufnahme der Elektromagnete gewährt. Diese kehren ihre Polflächen der Innenwicklung

Fig. 30.

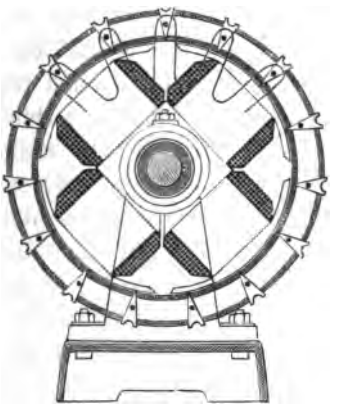
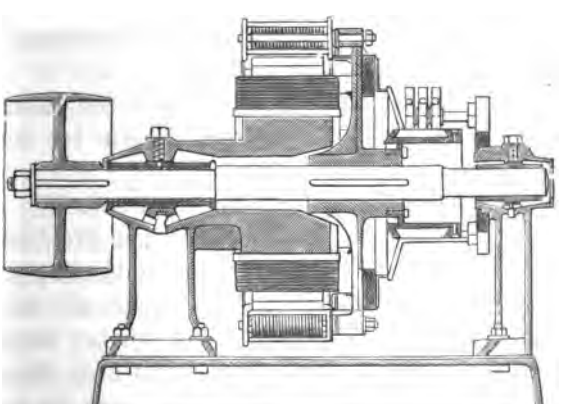


Fig. 31.



des Ringes zu und stoßen mit ihren anderen Enden derart zusammen, daß das die Magnetschenkel verbindende Mittelstück auf ein Minimum gebracht ist. Durch die angegebene Stellung der Pole gegen den Ring und zu einander wird bewirkt, daß aller Magnetismus vom Ringe aufgefangen, also verwerthet wird, weil einerseits der Ring die Magnete ganz umhüllt und weil anderseits die Magnetpole weit genug von einander entfernt sind, um ein Uebergehen des Magnetismus von Pol zu Pol zu verhindern.

Die Maschine wurde bereits mehrfach mit einem inneren Durchmesser des Ringes von 64 cm bei einer Breite desselben von 20 cm ausgeführt und gibt bei 350 Touren in der Minute 16.000 V-A, bei 480 Touren 25.000 V-A. Hierbei betrug ihr Gewicht 1208 kg, wovon auf die Drahtwicklung 146 kg kommen. Im Vergleiche mit einer gleichwerthigen Maschine der besten älteren Construction veranschlagt v. Hefner-Alteneck das Gewicht der neuen Maschine (und ebenso das der Kupferdrahtmenge) um ein Drittel geringer. Die neue Maschine zeichnet sich auch noch dadurch aus, daß ihre Armatur vollkommen frei zugänglich ist, und daher etwa nothwendig werdende Reparaturen leicht und rasch auszuführen gestattet.

Der Zahl der Elektromagnetschenkel entsprechend erfolgt die Stromabnahme an vier Stellen des Commutatorumfanges.

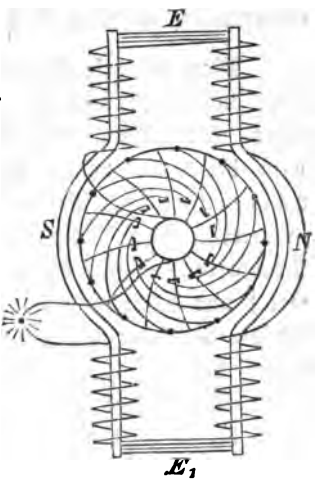
Da der Ringdurchmesser ein verhältnißmäßig großer ist, läuft die Maschine im Vergleiche mit Maschinen anderer Construction auch mit einer verhältnißmäßig geringen Tourenzahl und diese sinkt im selben Maße, als der Ringdurchmesser größer wird. So lange es also den Maschinenbauern nicht gelingt, schnellgehende und doch ökonomisch arbeitende Dampfmaschinen herzustellen, wird die beschrie-

bene Maschine von v. Hefner-Alteneck für alle jene Fälle empfohlen, in welchen man große elektrische Maschinen bauen und diese direct mit dem Motor kuppeln will.

2. Trommelmaschinen.

Bevor wir auf die Construction des charakteristischen Bestandtheiles dieser Maschinen, die Trommel-Armatur, näher eingehen, sei des besseren Verständnisses halber Folgendes vorausgeschickt. In Figur 32 ist das Schema einer Trommelmaschine dargestellt, wie solche die Firma Siemens & Halske unter Benützung des dynamo-elektrischen Principes baut.

Fig. 32.



Die Elektromagnete E und E_1 haben bei S und N ihre Pole, welche bogenförmig die Trommel-Armatur umfassen. Sobald die Trommel in Drehung versetzt wird, entstehen in ihren Drahtwindungen elektrische Ströme, welche, in die Spiralen der Elektromagnete geleitet, diese in kurzer Zeit bis zu ihrer größten Stärke bringen.

Betrachten wir nun mit Hilfe des Schemas Fig. 33 die Inductionsvorgänge etwas näher, so bemerken wir, daß zur selben Zeit, in welcher sich die eine Hälfte der Drahtwindungen dem Südpole nähert, die andere Hälfte derselben Windungen dem Nordpole immer näher rückt; es werden

also in der einen Hälfte der Drahtwindungen Ströme der einen Richtung inducirt, in der anderen Hälfte Ströme der entgegengesetzten Richtung. Da aber jede Drahtwindung sich bei O zurückkrümmt und dann in der zweiten Hälfte entgegengesetzt verläuft wie in der ersten Hälfte, so muß die ganze Windung doch nur von Strömen einer Richtung, die sich in ihren Wirkungen addiren, durchflossen sein. Es verhält sich hier ähnlich wie mit der Bewegung eines Uhrzeigers: derselbe bewegt sich unten von rechts nach links, oben umgekehrt, und doch durchläuft er continuirlich in einer Richtung seine Bahn.

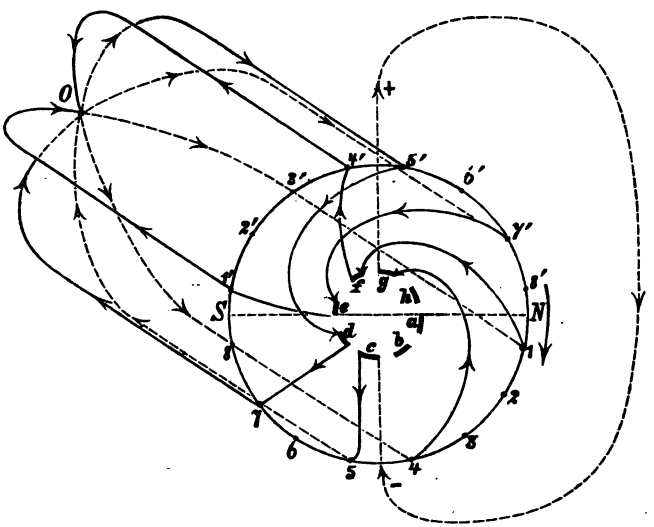
Man bemerkt ferner, daß jede Windungshälfte bei jeder vollen Umdrehung der Trommel sich einmal dem Nord- und einmal dem Südpole nähert; es müssen deshalb bei einer vollen Umdrehung in jeder Umwindung *nacheinander* Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt werden. Im Schema (Fig. 33) sind vier derartige Drahtgruppen durch die Curven c 5 O 5′ d, d 7 O 7′ e, e 1′ O 1 f und f 4′ O 4 g dargestellt. Bei N und S hat man sich die Pole der Elektromagnete zu denken, der mit Buchstaben beschriebene Kreis versinnlicht die von einander isolirten Theile des Collectors oder Stromsammlers; der Pfeil bei N zeigt die Rotationsrichtung der Trommel, die übrigen Pfeile geben die Richtung der inducirten Ströme an. Die über die Punkte 22′, 33′, 66′ und 88′ verlaufenden Drahtgruppen sind weggelassen, um die Deutlichkeit nicht zu beeinträchtigen. Wir wollen nun die einzelnen Drahtwindungen und die in diesen auftretenden Inductionserscheinungen der Reihe nach betrachten.

1. Jene Windungen, welche von 5′ und 7′ ausgehend nach O laufen, *nähern* sich dem Nordpole N; sie er-

halten Ströme inducirt von bestimmter Richtung, in der Zeichnung von rückwärts gegen den Collector zu.

2. Die Windungen, welche von 1 und 4 ausgehen, entfernen sich vom Nordpole, weshalb in jenen Ströme inducirt werden, die der Richtung nach den vorigen ent=

Fig. 33.



gegengesetzt verlaufen; nun sind aber auch die Seiten, oben und unten, in Beziehung auf den Nordpol verwechselt, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, daher haben die Ströme wieder die Richtung von rückwärts gegen den Collector.

3. In den Windungen, welche von 5 und 7 ausgehen, werden Ströme inducirt, die ihrer Richtung nach den unter 1 erwähnten Strömen entgegengesetzt gerichtet sind, weil sie sich dem Südpole nähern, während die unter 1 be=

trachteten Windungen sich dem Nordpole nähern. Die Stromrichtung wird also sein: vom Collector nach rückwärts.

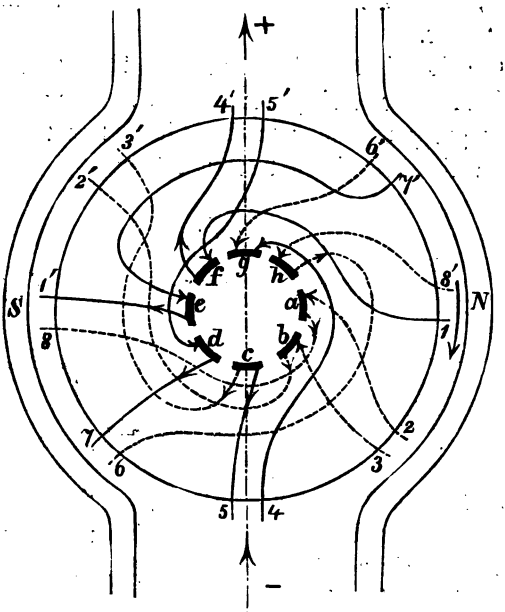
4. Die Windungen, die bei 1′ und 4′ beginnen, entfernen sich vom Südpole, erleiden deshalb entgegengesetzte Inductionen wie die Drähte in 3, haben aber räumlich die entgegengesetzte Lage, und die Ströme bekommen daher durch diese doppelte Umkehr wieder die Richtung der Ströme in 3, also die vom Collector nach rückwärts.

Es werden also Ströme mit der Richtung vom Collector in jenen Drähten inducirt, welche von den Punkten 4′ 1′ 7 und 5 auslaufen, Ströme mit der Richtung zum Collector in den von 5′ 7′ 1 und 4 ausgehenden Drähten. Es tritt daher zwischen 5′ und 4′, ferner zwischen 4 und 5 ein Stromwechsel für jede in diese Stellung kommende Spule ein. Die Verbindungslinie + — zwischen diesen beiden Punkten steht senkrecht auf der Verbindungslinie der Magnetpole NS. Die Ableitung der inducirten Ströme aus der Maschine in den äußeren Stromkreis derart, daß letzterer stets von Strömen einer Richtung durchflossen erscheint, wird durch die im Schema angegebene Anordnung des Collectors oder Stromsammlers bewirkt. Von — ausgehend, kann man die Richtung der Ströme über c 5 O 5′ d 7 O 7′ e 1′ O 1 f 4′ O 4 g bis + verfolgen und ersieht daraus, daß alle diese Windungen einen ununterbrochenen Stromkreis darstellen.

Derselbe Gang der Betrachtung läßt sich auch für jene Drahtwindungen durchführen, welche von den Punkten 5′ 8′ 2 und 3, ferner von den Punkten 3′ 2′ 8 und 6 ausgehen. Es ergibt sich dann, daß die ersterwähnten Windungen Ströme inducirt erhalten mit der Richtung zum Collector, die letzterwähnten mit der Richtung vom Col-

lector. Die Verbindungen der einzelnen Windungen mit den Collectortheilen in einer der früheren analogen Weise gibt wieder einen geschlossenen Stromkreis, der von — über c 3′ 0 3 b 2′ 0 2 a 8 0 8′ h 6 0 6′ g nach + geht. In

Fig. 34.



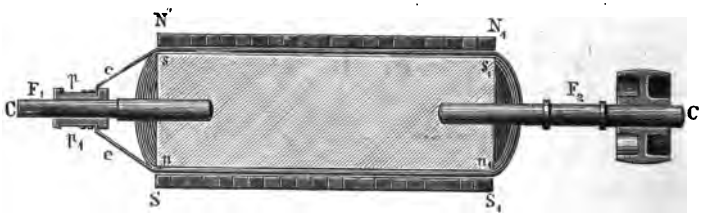
Figur 34 ist der Collector mit seinen Verbindungen, aber ohne die mit der Trommelaxe parallelen Drahtwindungen dargestellt und die einzelnen Punkte sind mit gleichen Buchstaben und Zahlen bezeichnet, wie in Figur 33; der zuletzt angegebene Stromkreis ist punktirt gezeichnet.

Durch die eigenthümliche Anordnung des Collectors wird bewirkt, daß bei g und c Ströme gleicher Richtung

zusammentreffen, die sich geradeso wie im Gramme'schen Ringe wieder vernichten müßten, wenn an diesen Stellen nicht die Ableitungsdrähte + und — in den äußeren Stromkreis angebracht wären. Für diese Ableitung, sowie auch für die Stellung der hierzu dienenden Bürsten gilt dasselbe, was bei der Gramme'schen Maschine bereits gesagt wurde.

Ebenso wie der Gramme'sche Ring wurde auch die v. Hefner-Alteneck'sche Trommel-Armatur zum Vorbilde für eine große Anzahl von Maschinen, von welchen nachstehend einige beschrieben werden mögen.

Fig. 35.



Trommelmaschinen von Siemens & Halske. Die einfachste Form der Trommel-Armatur ist in Figur 35 dargestellt. Auf einer Stahlaxe C C, welche in den Lagern F_1 F_2 drehbar ist, sitzt eine eiserne Trommel s s_1 n n_1. Um dieselbe, und zwar in der Richtung ihrer Längsaxe, ist ein isolirter Kupferdraht gewickelt, dessen Enden c c zu dem Commutator p p_1 führen. N N_1 und S S_1 stellen die Querschnitte von Magnetpolen dar. Die Magnetpole sind bogenartig geformt, so daß sie die Trommel in mehr als zwei Drittel ihres Umfanges umhüllen; sie wirken durch Influenz auf den Eisenkern und verwandeln diesen in einen kräftigen Quermagnet. Die Magnetpole und der Eisenkern

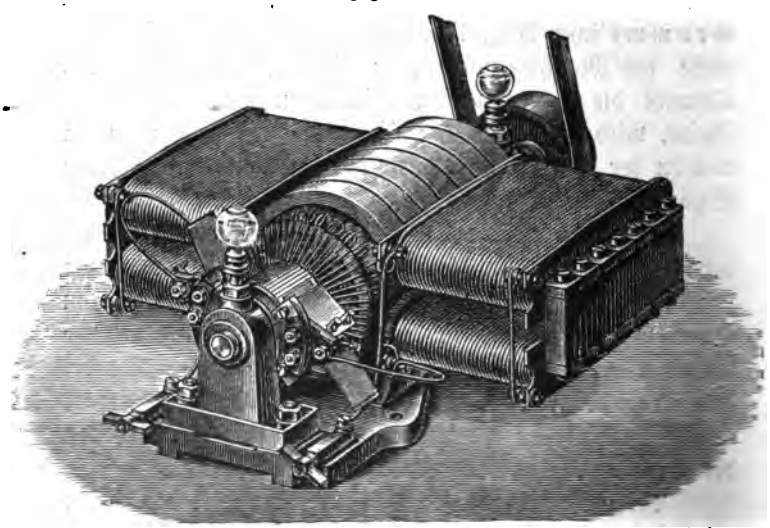
bilden in dem Raume zwischen sich zwei entgegengesetzt polarisirte, kräftige magnetische Felder. In diesen rotiren die Drahtwindungen, während der trommelförmige Eisenkern festgelegt ist. Werden jedoch die Drahtwindungen auf der Trommel selbst angebracht, so daß diese an der Rotation der Spiralen theilzunehmen gezwungen ist, so tritt in der Trommel ein gegen die Rotationsrichtung gerichtetes Wandern der Polaritäten geradeso ein, wie wir es am Gramme'schen Ring beobachtet haben. In der Wirkungsweise der Maschine wird aber hierdurch nichts geändert. Obwohl die Festlegung der Eisentrommel vortheilhaft erscheint, wird hiervon doch meistens Abstand genommen, da dies in der mechanischen Durchführung der Maschine große Schwierigkeiten verursacht.

Aus Vorstehendem läßt sich leicht erkennen, daß bei der Trommel-Armatur die Ausnützung der Drahtwindungen zur Induction eine viel vollkommenere ist wie beim Gramme'schen Ringe, da bei der ersteren im Innenraume derselben keine Drahtwindungen vorkommen, wie dies bei dem Ringe der Fall ist. Bei der Trommel-Armatur werden, mit Ausnahme der Drahtstücke an den beiden Stirnseiten der Trommel, alle Drähte vollständig ausgenützt.

Bei der praktischen Ausführung der Siemens'schen Maschinen zu Beleuchtung, Elektrochemie und Kraftübertragung werden die Elektromagnete entweder stehend oder liegend, dem speciellen Bedürfnisse entsprechend, angeordnet. Hierbei wird auch in der Regel auf die etwas complicirte Stromführung verzichtet, der Draht auf der Trommel in viele Partien getheilt, die dann keines Collectors bedürfen, sondern in Gramme'scher Weise zu den Sectoren eines Stromsammlers von der bei diesen Maschinen benützten Art geleitet werden.

Eine derartige Maschine für Beleuchtungszwecke ist in Figur 36 abgebildet. Die Elektromagnetschenkel sind hierbei flach gebaut und liegend angeordnet. Die Pole bestehen aus sieben Eisenlamellen, welche in Bogenform die Trommel derart umfassen, daß stets mehr als zwei Drittel derselben der Inductionswirkung ausgesetzt

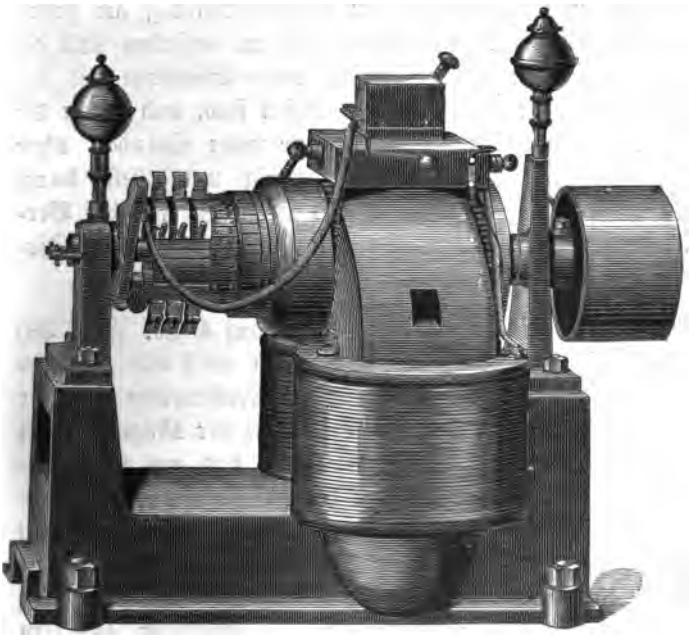
Fig. 36.



sind. Die Anwendung des dynamischen Principes zeigt die Verfolgung des Stromweges durch die Maschine. Der in den Umwindungen der Trommel inducirte Strom gelangt durch die rechts auf dem Stromsammler schleifende Bürste mittelst eines Drahtbogens in die rechts unten liegende Spule des Elektromagnetes, durchläuft diese, geht dann in die obere Spule, von hier in die am Gestelle rechts befindliche Klemme, in den äußeren Schließungsbogen (der

hier weggelassen ist) zur Klemme links, von dort zu den links befindlichen Spulen des Magnetes und endlich durch die links befindliche Schleiffeder wieder in die Trommelwindungen.

Fig. 37.



Diese Maschine wird in verschiedenen Größen ausgeführt und besitzt dann natürlich auch eine verschiedene Leistungsfähigkeit. Das mit D_1 bezeichnete Modell ist z. B. im Stande, ein Licht von 12.000 NK zu erzeugen, wenn es 500 Touren pro Minute macht, wobei ein Kraftaufwand von 7 HP erforderlich ist. Die Maschine hat eine

Länge von 1·21 m, eine Breite von 0·86 m und eine Höhe von 0·35 m und wiegt 500 kg.

In Figur 37 endlich ist das neueste Modell (Mod. 4) der Siemens'schen Maschine abgebildet. Es ist dies jene Form, welche sich speciell zum gleichzeitigen Betrieb von Bogen- und Glühlampen in Parallelschaltung am zweckmäßigsten erwies. Bemerkenswerth an derselben sind die kurzen kräftigen Magnetschenkel, deren Eisenkerne mit der Grundplatte in einem Stücke gegossen sind, und ferner die Isolirung der Commutatorsegmente unter einander ohne Zuhilfenahme einer Isolirmasse einzig und allein durch Luftzwischenräume, wodurch das Herstellen leitender Verbindungen durch Eindringen von Kupferstaub in die Isolirungen vermieden wird.

Die **Gleichstrommaschine von Ganz & Co.** (Fig. 38) ist eine Trommelmaschine, dem Wesen nach wie die vorbeschriebene, aber verschieden in der Construction einzelner Theile. Die kurzen, kräftigen Eisenkerne der Magnetschenkel besitzen einen rechteckigen Querschnitt, sind aus Schmiedeeisen gebildet und werden mit der gußeisernen Fundamentplatte während des Gusses verbunden. Die in dieser Art erreichte innige Verbindung der Magnetschenkel unter einander ebenso wie der Umstand, daß man den Fasern in den schmiedeeisernen Kernen dieselbe Richtung gibt, in welcher die magnetischen Kraftlinien verlaufen, bewirken einen sehr geringen magnetischen Widerstand. Die Trommel, welche an die weiter unten eingehend zu beschreibende Construction Weston's erinnert, ist aus 0·5 mm dicken Eisenblechen mit zwischengelegten Papierscheiben gebildet; Bleche und Scheiben werden durch starkes Zusammenpressen zu einer Trommel vereinigt, welche an ihrer Mantelfläche mit tiefen,

schmalen Längsrinnen versehen erscheint (Fig. 39). Letztere dienen zur Aufnahme der Drahtwindungen.

Fig. 38.

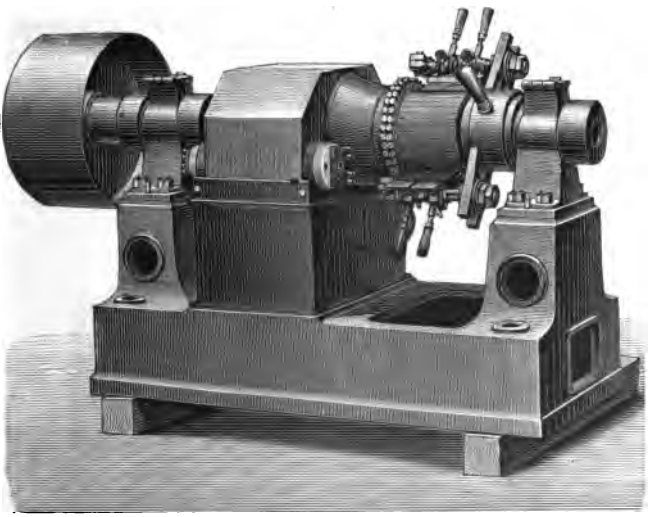
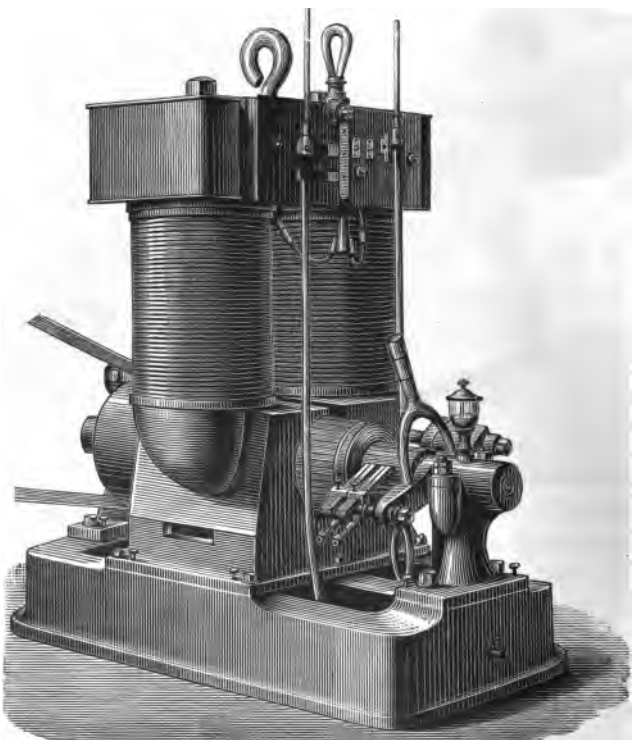


Fig. 39.

Die Lager sind bei den kleineren Maschinen ganz aus Bronze hergestellt, bei den größeren aber aus Gußeisen mit Bronzeschalen; ein Zinkrost isolirt sie magnetisch von

der Grundplatte und soll dadurch einen schädlichen magnetischen Nebenschluß durch Fundamentplatte, Lager und Welle verhindern.

Fig. 40.

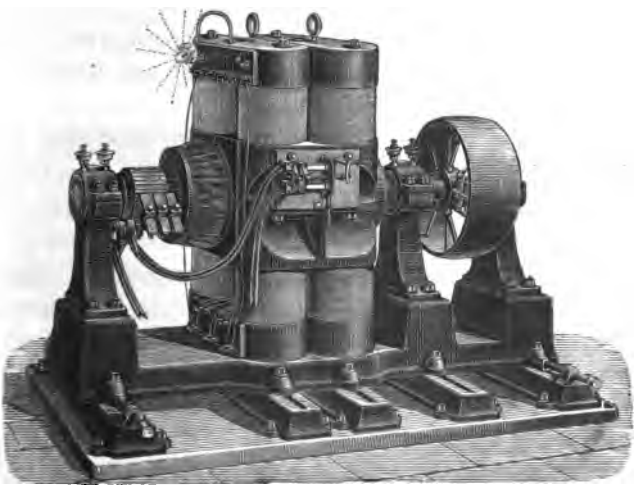


Die Klemmen für den Hauptstrom ebenso wie für den Magnetisirungsstrom sind durch Porzellan und Holzunterlagen isolirt an den Magnetschenkeln befestigt. Die Bürsten, eine bis drei auf jedem Bürstenhalter, lassen sich

sowohl einzeln als auch alle zusammen verstellen und ermöglichen dadurch eine genaue Einstellung.

Alle blanken Theile, mit Ausnahme des Stromsammlers, sind vernickelt. Zum Schutze gegen das Eindringen von Metallstaub u. s. w. sind die Windungen auf den Elektromagnetschenkeln mit Wachsleinwand umhüllt, die Stirnflächen der Trommel mit einem starken Gewebe

Fig. 41.



bekleidet und überdies schützt eine mehrfach durchbrochene starke Zinkplatte, welche die oberen Enden der Magnetschenkel verbindet, die Trommel gegen das Eindringen fremder Körper von oben her.

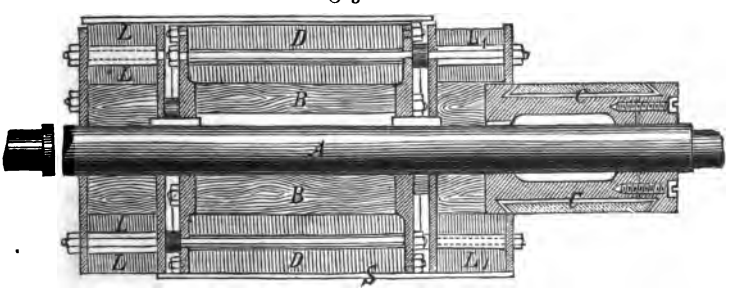
Maschinen von Edison. Diese Gleichstrommaschinen (Fig. 40 und 41) fallen durch ihre eigenthümlichen Elektromagnete auf, die namentlich in den älteren Modellen die Trommel-Armatur säulenförmig überragten. Die Polschuhe

derselben sind aus einem massiven Eisenblock gebildet, der cylindrisch ausgedreht ist. Die Verbindung der Magnetschenkel an den entgegengesetzten Enden ist gleichfalls durch auffallend massive Eisenstücke (zur Verminderung des magnetischen Widerstandes) bewirkt. Die in Figur 41 abgebildete Maschine stellt eine in den Werkstätten von Ivry gebaute Type dar, welche bei 350 Touren in der Minute (gleich 10.500 m linear in der Secunde) einen Strom von 125 V und 800 A (gleich 100.000 W) liefert. Die Trommel hat einen Durchmesser von 0·630 m, eine Länge von 0·800 m und besitzt einen Widerstand von 0·0054 O; das Kupfergewicht beträgt 190 kg.

Die Armatur der Edison-Maschinen bildet eine, dem Principe nach, Siemens'sche Trommel mit Gramme'scher Verbindungsweise der Drahtenden. Die Windungen sind parallel zur Drehungsaxe der Trommel angeordnet, aber nicht aus Drähten, sondern aus Kupferstreifen von trapezartigem Querschnitte hergestellt. Die Isolirung der einzelnen Streifen von einander wird durch ein eigens präparirtes Löschpapier bewerkstelligt. An den beiden Stirnseiten der Trommel sind auf deren Axe von dieser und von einander isolirt ebensoviele Kupferscheiben angebracht, als Kupferstreifen auf dem Umfange vorhanden sind. Je zwei einander diametral gegenüberliegende Kupferstreifen sind mit ihren auf der einen Stirnseite der Armatur liegenden Enden mit einer Kupferscheibe verbunden; das auf der entgegengesetzten Seite der Armatur befindliche Ende des einen Streifens ist mit einer auf dieser Seite befindlichen Kupferscheibe verbunden, das Ende des zweiten Streifens (dem ersten diametral gegenüber) mit einer zweiten Kupferscheibe. Von dieser geht dann eine Verbindung zum dritten Streifen, von hier zu einer Scheibe auf der gegenüber-

liegenden Seite der Armatur; diese Scheibe ist dann mit dem dem dritten Streifen diametral gegenüberliegenden Streifen verbunden, so also daß alle Kupferstreifen, -Scheiben und -Verbindungen zusammen eine ununterbrochene Reihe von Windungen um die Trommel bilden. Figur 42 wird diese Anordnung verdeutlichen. Auf der Axe A ist zunächst ein Holzcylinder B befestigt, welcher die den Kern der Armatur bildenden Scheiben D aus weichem Eisen trägt. S sind die Kupferstreifen, deren die große Maschine 146 besitzt, und L L' die Kupferscheiben. C ist der nach Gramme'scher

Fig. 42.



Weise ausgeführte Stromsammler. Durch diese Anordnung ist der Widerstand der Armatur und speciell derjenige der unthätigen Partien an den Stirnseiten des Cylinders auf ein Minimum gebracht und die Verbindung der einzelnen Windungen ohne Complication von Drähten erreicht.

Ein Uebelstand, der sich namentlich bei großen Maschinen geltend macht, besteht in der starken Funkenbildung am Stromsammler, wodurch dieser sehr rasch abgenützt wird. Betrachten wir einmal die Vorgänge am Stromsammler etwas genauer. Letzterer besteht aus einer größeren oder geringeren Anzahl von Metallstreifen, welche mit

den Drahtwindungen der Armatur in Verbindung stehen und unter einander durch irgend ein Isolirungsmaterial getrennt sind. Die auf dem Stromsammler schleifenden Bürsten passiren also abwechselnd leitende und isolirende Streifen, d. h. sie stehen mit den Armaturwindungen abwechselnd in und außer Verbindung. Dementsprechend könnte im äußeren Stromkreise kein continuirlicher Strom auftreten, sondern in diesem müßten lauter einzelne rasch aufeinanderfolgende Ströme kreisen. Um diese fortwährenden Stromunterbrechungen hintanzuhalten, werden daher die Schleifbürsten so angeordnet, daß sie schon den folgenden Metallstreifen berühren, wenn sie den vorhergehenden noch nicht verlassen haben. Hierdurch erreicht man, daß der Strom nie vollständig unterbrochen wird.

Bei der Gramme'schen Anordnung des Stromsammlers ist nun der Vorgang an diesem folgender: Die Schleiffeder f (Fig. 43) berührt bereits den Metallstreifen 2 des Stromsammlers, während sie den Streifen 1 noch nicht verlassen hat. Dadurch wird aber die zwischen diesen beiden Metallstreifen liegende Spule S der Armatur kurz, d. h. durch 1, 2 und f, geschlossen. Ist nun die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Enden der Spule S eine bedeutende, so wird der kurze Schluß schon hergestellt werden, bevor die Streifen 1 und 2 durch f verbunden sind, indem eine Selbstentladung in Form eines Funkens eintritt.

Edison hat nun für seine großen Maschinen eine Anordnung getroffen, durch welche beide Uebelstände, nämlich die Unterbrechung des Stromes und die Funkenbildung, bedeutend vermindert werden. In Figur 44 bezeichnen a_1 a_2 a_3 die isolirenden, b_1 b_2 b_3 die Metallstreifen des Stromsammlers A. Die Metallstreifen verlaufen nicht in ihrer ganzen Länge in gleicher Breite, sondern je ein Stück

derselben ist, wie die Figur erkennen läßt, schmäler gehalten. Ueber die breiten Theile der Metallstreifen schleifen die Bürsten d d, über die schmalen Theile die von letzterer getrennte Bürste e. Auf derselben Axe, auf welcher der Stromsammler A befestigt ist, befindet sich auch der Stromunterbrecher B. Auf diesem sind von einander und von der Maschine isolirt die Metallstreifen c_1 c_2 u. s. w. angebracht. In ihrer Lage stimmen sie genau mit der Lage der schmalen Stücke b_1 b_2 ... des Stromsammlers A überein. Ueber

Fig. 43.

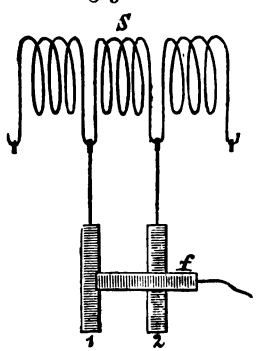
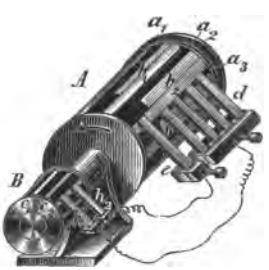


Fig. 44.



die Metallstreifen des Stromunterbrechers B schleifen die beiden von einander getrennten Bürsten h_1 h_2. Die Bürste h_1 ist mit den Bürsten d d, h_2 mit der Bürste e verbunden. Die Bürsten e, h und h_2 sind gegenüber den Bürsten d d etwas vorgeschoben.

Ist die Maschine im Gange, also A und B in vollkommen gleicher Rotation, so spielen sich die Vorgänge bei der Stromableitung in folgender Weise ab: So oft die Bürsten d d auf einem der Metallstreifen b_1 b_2 ... des Stromsammlers A aufruhen, berühren die Bürsten e, h_1

und h_2 Isolirungsstreifen; die letztgenannten Bürsten nehmen daher an der Stromableitung keinen Antheil, und diese erfolgt in der gewöhnlichen Weise durch die Bürsten d d. Bevor jedoch die Bürsten d d bei fortdauernder Drehung von A die Metallstreifen b_1 b_2 .. verlassen, gelangt die Bürste e mit diesen in Berührung, während gleichzeitig die Bürsten h_1 h_2 auf einen Metallstreifen des Stromunterbrechers B gelangen. Der Strom kann nun durch die Bürste e, den Verbindungsdraht und die Bürste h_2 in den Metallstreifen auf B gelangen, von dem er dann durch die Bürste h_1 und den zu dieser gehörigen Verbindungsdraht zu den Bürsten d d kommt und von hier aus in den äußeren Stromkreis abfließt. Dieser Weg bleibt dem Strome so lange offen, so lange die Bürsten d d auf einem isolirenden Streifen schleifen. In dem Momente, als sie wieder auf einen Metallstreifen kommen, wird dieser Nebenschluß dadurch unterbrochen, daß die Bürsten h_1 h_2 auf einen isolirenden Streifen kommen und hierdurch die leitende Verbindung zwischen h_1 und h_2 aufgehoben wird.

Durch diese von Edison angegebene Anordnung wird also bewirkt, daß einerseits der Maschinenstrom im äußeren Stromkreise nie unterbrochen wird, anderseits nie ein kurzer Schluß einer Spirale der Armatur eintreten kann. Es bedarf nach Obigem keiner weiteren Erklärung, daß hierdurch auch die Funkenbildung auf ein Minimum gebracht wird.

Bei der **Maschine von Weston** (Fig. 45) ist, wie bereits erwähnt, namentlich die Construction der Armatur bemerkenswerth.

Der Eisenkern derselben ist folgendermaßen gebildet: 36 dünne Eisenscheiben sind an ihrem kreisförmigen Umfange so ausgeschnitten, daß sie die Form 16zähniger Räder erhalten;

dieselben werden dann auf die Rotationsaxe mit Einschaltung kleiner Zwischenstücke nebeneinander aufgesetzt, und zwar

Fig. 45.

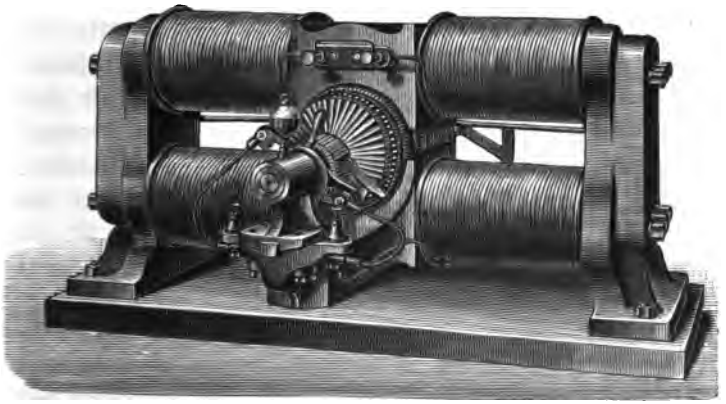
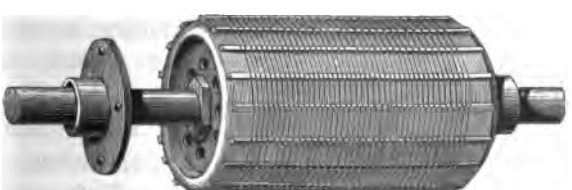


Fig. 46.



mit den Ecken ihrer Zähne in geraden, zur Rotationsaxe parallelen Linien. Dadurch bleibt zwischen je zwei Scheiben

ein Zwischenraum, in welchem die Luft circuliren kann. An der Oberfläche der auf diese Art gebildeten Trommel verlaufen dann parallel zu deren Axe 16 Rinnen von viereckigem Querschnitte. In diese werden die Drahtwindungen gelegt, unter einander und mit dem Stromsammler so verbunden, wie bei der Siemens'schen Maschine. Der Eisenkern der Armatur und eine davon getrennte Scheibe sind in Figur 46 abgebildet. An der Stirnseite ist die Trommel durch abgerundete mehrfach durchbohrte Eisenplatten geschlossen. Die Trommel ist sonach selbst nach dem Aufwinden des Drahtes hohl und ihr Innenraum durch eine große Anzahl von Oeffnungen mit der äußeren Luft in Verbindung. Jede Scheibe besitzt 16 Zähne und bildet daher an ihrem Umfange 16 Oeffnungen; da 36 Scheiben die Trommel zusammensetzen, so befinden sich an deren Oberfläche nicht weniger als 576 Oeffnungen, welche der Luft den Zutritt in das Innere der Trommel ermöglichen.

Bei den großen Maschinen dieser Art liegen die Drahtwindungen der Elektromagnete nicht im Hauptstromkreise, sondern in einem Nebenschlusse zu den Spiralen der Armatur. Eine solche Maschine versorgt 20 Bogenlampen mit Strom, macht hierbei 900 Touren und beansprucht einen Kraftaufwand von 14 HP.

Bei Maschinen, welche dazu bestimmt sind, eine größere Anzahl von Lampen mit Strom zu versorgen, die also auch einen höher gespannten Strom liefern müssen, wendet Weston eine besondere Windungs- und Verbindungsart der Drähte auf der Armatur an. Wir haben früher, bei Besprechung der Maschine von Edison, die Wirkungsweise eines Stromsammlers nach Gramme'schem Muster betrachtet und dabei die unvortheilhaften Folgen eines kurzen Schlusses der Armaturspiralen erkannt, welcher durch gleichzeitiges

Berühren zweier aufeinanderfolgender Stromsammler-Segmente durch die Bürsten entsteht. Die Vermeidung dieses Uebelstandes ist es eben, was Weston mit der eigenartigen Drahtführung bezweckt.

Figur 47 stellt die Ansicht und Figur 48 den in der Richtung A A durch die Armatur geführten Querschnitt dar. Die Drahtlagen in den 16 Rinnen des Eisenkernes sind in zwei Partien getheilt. Es ist dies in den beiden Figuren dadurch versinnlicht, daß die eine Partie weiß, die andere schwarz gezeichnet ist. Dementsprechend ist auch die Anzahl

Fig. 47.

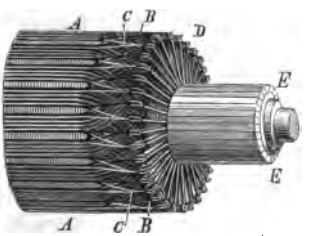
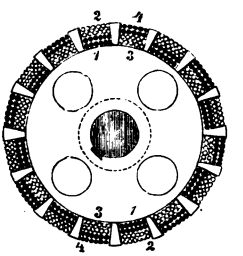


Fig. 48.

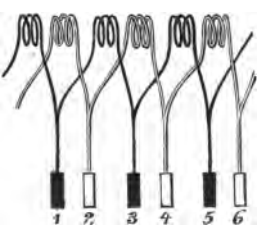


der Stromsammlerstreifen E E auf das Doppelte gebracht. Die Drahtführung ist in nachstehender Weise bewerkstelligt: Zunächst versieht man eine Rinne der Trommel und die ihr diametral gegenüberliegende Rinne mit einer Drahtlage. (In Figur 48 schwarz gezeichnet und mit 1, 1 bezeichnet.) Die Drahtenden werden dann in die Höhe gezogen und vorläufig frei gelassen. Dann versieht man dieselben Rinnen mit einer zweiten, von der ersten völlig getrennten, aber gleich starken Drahtlage (2, 2 weiß); hierauf führt man denselben Draht, nachdem man zuvor Schlingen gebildet hat, von welchen aus Leitungen zu den Stromsammlersegmenten geführt werden, in die auf beiden Seiten der

Trommel nächstfolgenden Rinnen und bildet dort die untere Lage (3, 3 weiß). Nun nimmt man den früher freigelassenen, von der Lage 1, 1 kommenden Draht wieder auf und stellt durch ihn die Lage 4, 4 her. In dieser Weise wird die ganze Trommel bewickelt und erhält dadurch zwei von einander getrennte Drahtlagen, die elektrisch vollkommen gleichwerthig sind, sowohl was ihre Länge, als auch was ihre Lage zu den inducirenden Magneten anbelangt.

Man kann natürlich auch zuerst die gesammten Rinnen der Trommel mit der unteren Drahtlage versehen und dann auf dieser die gesammte obere Drahtlage anbringen. Es ist dann nur zu beachten, daß immer das Ende der unteren Drahtlage einer Rinne mit dem Anfange der oberen Drahtlage der nächstfolgenden Rinne verbunden werden muß und von hier aus eine Verbindung mit einem Stromsammlerstreifen herzustellen ist. Aus Figur 47 ersieht man, daß dann immer abwechselnd schwarze Drahtlagen C und weiße Drahtlagen B mit den aufeinanderfolgenden Streifen des Stromsammlers verbunden sind; diese Verbindung wird durch die Stahlstücke D hergestellt.

Fig. 49.



Daß bei dieser Anordnung und Verbindungsweise der einzelnen Windungsgruppen nie ein kurzer Schluß in der Weise entstehen kann, wie wir es bei Betrachtung der Figur 43 gesehen haben, zeigt die in gleicher Weise gezeichnete Figur 49. Es mögen die Segmente 1 2 oder 2 3 oder irgend welche andere unmittelbar aufeinanderfolgende Segmente des Stromsammlers verbunden werden, nie wird hierdurch ein kurzer Schluß in solcher Weise herbeigeführt,

wie beim Gramme'schen Ringe. Zur Erreichung dieses Zieles ist es natürlich nicht nothwendig, genau nach der oben angegebenen Weise bei der Bewicklung des Eisenkernes vorzugehen, es genügt vielmehr an dem Principe festzuhalten, daß zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Segmente des Stromsammlers nicht mit den Enden einer in sich geschlossenen Gruppe in Verbindung stehen dürfen. Sonach können auch die Drahtwindungen der gesammten Armatur in mehr als zwei selbstständige Stromkreise getheilt werden, was bei sehr großen Maschinen und höheren Spannungen vortheilhaft erscheinen kann; in der Regel wird jedoch die Zweitheilung zur Erreichung des angestrebten Zweckes vollständig genügen.

3. Stromerzeugung in der Maschine.

Bei allen Maschinen erfolgt die Erregung elektrischer Ströme in der Weise, daß stromlose Drähte und magnetische Felder fortwährend ihre gegenseitige Lage zu einander ändern, oder daß durch eine von außen her wirkende Kraft ein Theil der Maschine (die Armatur oder die Elektromagnete) in Bewegung gesetzt und darin erhalten wird. Die elektrischen Ströme erscheinen dabei stets als Umwandlungsproduct jener mechanischen Arbeit, welche von dem die Strommaschine in Bewegung setzenden und erhaltenden Motor geleistet wird. Es bedarf nur eines geringen Kraftaufwandes, um irgend eine elektrische Maschine in Bewegung zu setzen und ebenso eines geringen Kraftaufwandes, sie in Bewegung zu erhalten, wenn das dynamo-elektrische Princip durchgeführt und der äußere Stromkreis unterbrochen ist. Im letzteren Falle kann die dynamo-elektrische Maschine keine Ströme liefern, weil die durch den schwachen

remanenten Magnetismus in der Armatur erregten äußerst schwachen Ströme durch die Unterbrechung des äußeren Stromkreises verhindert werden, in die Elektromagnetwindungen zu fließen. Bei Maschinen, welche permanente (Stahl-) Magnete besitzen oder bei solchen, deren Elektromagnete durch eine selbstständige Elektricitätsquelle erregt werden, entstehen in der Armatur auch dann Ströme, wenn der äußere Stromkreis unterbrochen ist. Zur Erhaltung der Bewegung dieser Maschinen oder dynamo-elektrischer Maschinen mit geschlossenem äußeren Stromkreise ist jedoch ein bedeutend größerer Kraftaufwand nöthig. Man kann sich davon schon an den kleinen Maschinen für Handbetrieb überzeugen; die ersten Umdrehungen einer solchen dynamo-elektrischen Maschine erfordern eine äußerst geringe Anstrengung; diese muß aber rasch gesteigert werden, in demselben Maße, als die successive Steigerung der Stromstärke eintritt.

Aus diesem Verhalten ersieht man, daß durch die Erregung von Strömen in der Armatur eine Kraft erweckt wird, die der Umdrehung des rotirenden Theiles der Maschine entgegenwirkt. Worin dieser durch die Wirksamkeit der Maschine selbst geschaffene Widerstand liegt, ist leicht einzusehen. Durch den Betrieb der Maschine werden stromdurchflossene Spulen an Magneten oder Magnete an stromdurchflossenen Spulen vorbeibewegt. Wir wissen aber, daß zwei derartige Körper stets eine abstoßende oder anziehende Wirkung aufeinander ausüben und die eine oder die andere Wirkung eintritt, je nachdem die Richtungen der Ströme (Ampère'schen und inducirten) einander entgegengesetzte oder gleiche sind. Eine derartige Rückwirkung muß daher auch in jeder elektrischen Maschine zwischen dem feststehenden und dem bewegten Theile eintreten. Hierbei sind für diese An-

ziehung beziehungsweise Abstoßung nur zwei Fälle möglich: entweder wird hierdurch eine Kraft wirksam, die den rotirenden Theil in jener Richtung zu drehen sucht, in welcher er durch die von außen her wirkende Kraft (z. B. Dampfmaschine) gedreht wird, oder aber diese innere Kraft sucht den beweglichen Theil in entgegengesetzter Richtung zu bewegen. Ob das eine oder das andere Verhalten eintritt, können wir z. B. aus der schematischen Zeichnung des Gramme'schen Ringes (Fig. 9, Seite 23) ersehen.

Der Ring wird in der Richtung der Uhrzeigerbewegung in Rotation gesetzt, wobei sich die Spulen 7, 8, 1 und 2 dem Nordpole N nähern, die Spulen 3, 4, 5 und 6 von ihm entfernen. Die erstgenannten Spulen erhalten daher alle Ströme einer Richtung inducirt und senden diese Ströme durch die bei A angebrachte Bürste in den äußeren Stromkreis; die Ströme entgegengesetzter Richtung fließen von den letztgenannten Spulen bei B eben dorthin. Die Spulen 7, 8, 1 und 2 erhalten Ströme inducirt, die in der Richtung der Uhrzeigerbewegung verlaufen, also mit der Richtung der Ampère'schen Ströme am Südpole des Magnetes übereinstimmen, aber entgegengesetzt gerichtet sind jenen am Nordpole. Der Nordpol muß daher die Spulen 7, 8, 1 und 2 abstoßen, während sie vom Südpole angezogen werden, d. h. es muß das Bestreben auftreten, die Spulen in entgegengesetzter Weise zu drehen, als sie durch die von außen angewandte Kraft gedreht werden. Da in den Spulen 3, 4, 5 und 6 die Ströme den entgegengesetzten Verlauf nehmen, wie in den oben genannten Spulen, so muß auch die Wirkung der Magnetpole eine entgegengesetzte sein, d. h. die Spulen 3, 4, 5 und 6 müssen vom Nordpole angezogen und vom Südpole abgestoßen werden. Ein Blick auf die Figur lehrt, daß auch durch die Wechsel-

wirkung zwischen diesen Spulen und den Magnetpolen das Bestreben hervorgerufen wird, den Spulen eine Bewegung zu ertheilen, deren Richtung entgegengesetzt ist jener, welche ihnen von außen ertheilt wird.

Diese Gegenwirkung, welche wir beim Gramme'schen Ringe eingehender betrachtet haben, tritt beim Betriebe jeder Maschine auf. Sie mag wie immer construirt sein, so müssen doch immer in jenen Leitern oder Leitertheilen, welche einem Magnetpole genähert werden, Ströme auftreten, die den Ampère'schen Strömen jenes Magnetpoles entgegengesetzt gerichtet sind. Letzterer muß daher erstere zurückzustoßen suchen. Leitertheile oder Leiter, welche sich von einem Magnetpole entfernen, erhalten Ströme inducirt, deren Richtung mit jener der Ampère'schen Ströme jenes Poles übereinstimmen. Letzterer wird daher das Bestreben haben, die Leiter oder Leitertheile zurückzuhalten, d. h. also, das ganze System steht unter Einwirkung einer Kraft, welche es in entgegengesetzter Richtung zu bewegen sucht, als jene ist, welche es von außen her erhält.

Hieraus erklärt sich nun, warum zum Betriebe einer elektrischen Maschine ein bestimmter, mit der Stärke des von der Maschine gelieferten Stromes veränderlicher Kraftaufwand erforderlich ist. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß ein Theil jener Arbeit, welche der Motor (die Menschenhand, Gas-, Dampfmaschine ꝛc.) leistet, dazu verwendet wird, die Reibungswiderstände in den Transmissionen, Axenlagern u. s. w. zu überwinden. Der größte Theil der Arbeit wird jedoch dadurch in Elektricität umgewandelt, daß durch die Bewegung eines Theiles der elektrischen Maschine die Anziehung zwischen diesem und dem feststehenden Theile überwunden wird. Da diese Anziehung (oder Abstoßung) so lange wirkt, als die Maschine im Gange

ist, und stärker oder schwächer wird, je nachdem der von der Maschine erzeugte Strom seine Stärke ändert, so muß einerseits der elektrischen Maschine stets Arbeit zugeführt werden und anderseits die Größe dieser Arbeit mit der Stromstärke zu- und abnehmen.

Durch obige Betrachtungen haben wir zugleich einen Factor kennen gelernt, welcher auf die Stärke der von einer Maschine gelieferten Ströme bestimmend wirkt. Das Ohmsche Gesetz, welches natürlich auch für die Maschinenströme Geltung besitzt, ist bekanntlich gegeben durch den Ausdruck:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Gesammtwiderstand.}}$$

Um die Stromstärke zu bekommen, müssen wir also die elektromotorische Kraft und den Gesammtwiderstand kennen. Wir haben daher zunächst zu untersuchen, wovon die beiden letzteren abhängen. Die elektro-motorische Kraft muß offenbar desto größer werden, je kräftiger die auf die Drahtwindungen ausgeübte Induction ist. Diese aber hängt von der Stärke der Magnete und von der Entfernung der Magnetpole von den inducirten Windungen ab. Die elektromotorische Kraft wird also erhöht, wenn die Kraft der inducirenden Magnete verstärkt und ihre Entfernung von den inducirten Drähten verringert wird. Man muß daher bei jeder Maschine dafür Sorge tragen, daß Magnete und Armatur möglichst nahe aneinander kommen. Bei Maschinen, welche Stahlmagnete besitzen, ist die Stärke der letzteren eine bestimmte und unveränderliche. Daher bleibt auch bei einer gegebenen Maschine mit Stahlmagneten die elektromotorische Kraft in Bezug auf die Wirkungsweise der inducirenden Magnete unverändert. Sie bleibt natürlich auch unverändert, wenn die Maschine zwar Elektromagnete

besitzt, diese aber durch eine selbstständige constante Elektricitätsquelle erregt werden.

Gleichwie die elektromotorische Kraft einer galvanischen Batterie nicht nur von der Spannungsdifferenz der zur Berührung gebrachten Körper, sondern auch von der Zahl der Berührungsstellen, d. h. der Zahl der hintereinander verbundenen Elemente abhängt, ändert sich auch die elektromotorische Kraft einer Maschine mit der Zahl der Armaturwindungen. Unter sonst gleichen Umständen ist die elektromotorische Kraft der Zahl der Armaturwindungen direct proportional. Die elektromotorische Kraft eines Inductionsstromes ist aber auch, wie wir bereits wissen, desto größer, je rascher der Inductionsstrom verläuft. Er muß daher bei einer Maschine eine desto größere elektromotorische Kraft erhalten, je schneller die Rotation erfolgt. Somit ist die elektromotorische Kraft auch der Tourenzahl der Maschine direct proportional.

Bei einer magnet-elektrischen Maschine, d. h. also einer Maschine, die Stahlmagnete besitzt oder deren Elektromagnete durch eine von der Maschine unabhängige constante Stromquelle erregt werden, wird also die elektromotorische Kraft nur von der Intensität der Magnete, der Zahl der der Induction ausgesetzten Windungen und der Rotationsgeschwindigkeit derselben bestimmt.

Anders verhält es sich jedoch bei dynamo-elektrischen Maschinen; bei diesen werden die Elektromagnete durch den Strom der Maschine selbst erregt. Hier läßt uns die Ohm'sche Formel sofort erkennen, daß sich die elektromotorische Kraft auch mit dem Gesammtwiderstande, oder, da der innere Widerstand der Maschine unveränderlich ist, mit dem Widerstande des äußeren Stromkreises sich ändern muß. Ist nämlich der Widerstand des äußeren Stromkreises

ein sehr bedeutender, so wird nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke sehr klein ausfallen, und da der Maschinenstrom die Elektromagnete zu erregen hat, so wird der sehr schwache Strom auch nur eine geringe Intensität der Magnete bewirken. Ist der äußere Widerstand unendlich groß, d. h. der äußere Stromkreis ganz unterbrochen, so wird die Intensität der Magnete (von dem geringen remanenten Magnetismus abgesehen) gleich Null; die dynamo-elektrische Maschine wird also, auch wenn die Armatur fortwährend in Rotation erhalten wird, keinen Strom geben. Ist hingegen der Widerstand des äußeren Stromkreises ein sehr geringer, ist z. B. die Maschine durch einen kurzen, dicken Kupferdraht geschlossen, so erlangt der Strom eine bedeutende Stärke und erzeugt sehr kräftige Elektromagnete. Die Stromstärke einer dynamo-elektrischen Maschine hängt daher wesentlich vom Widerstande im äußeren Stromkreise ab und ist für Widerstandsschwankungen sehr empfindlich. Hierbei nimmt wegen der Wechselwirkung zwischen den inducirten Strömen und der Stärke des Magnetismus die Stromstärke im äußeren Stromkreise viel bedeutender zu oder ab, als der Widerstand ab- oder zunimmt.

Obige Betrachtungen gelten für eine dynamo-elektrische Maschine, bei welcher Armatur, Magnete und äußerer Stromkreis hintereinander, d. h. im **Hauptschlusse**, geschaltet sind. Eine derartige Schaltung ist für eine Edison-Maschine durch die schematische Figur 50 dargestellt. Diese Anordnung und die hierdurch bedingte Empfindlichkeit der Maschine in Bezug auf Widerstandsschwankungen im äußeren Stromkreise bringt häufig Uebelstände mit sich, die sehr störend werden können. Denken wir uns z. B. die Maschine zum Betriebe einer oder mehrerer Lampen mit Voltabogen in Verwendung stehend. Die Kohlen in den Lampen brennen

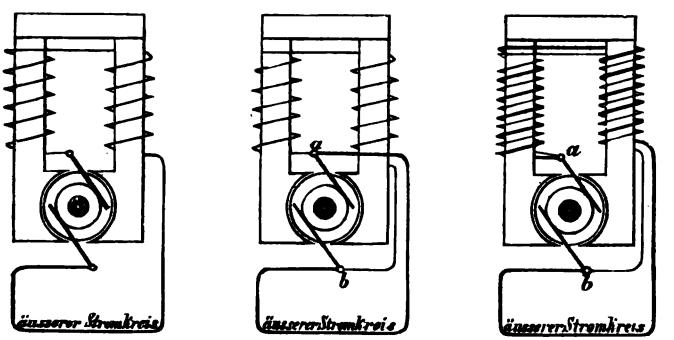
ab, vergrößern dadurch die Bogenlänge und daher auch den Widerstand im äußeren Stromkreise. Führt der Nachschubmechanismus in der Lampe die Kohlen nicht fortwährend und genau im Verhältnisse ihres Abbrennens gegeneinander, so bleibt dieser erhöhte Widerstand längere oder kürzere Zeit bestehen und führt dadurch eine Schwächung des Stromes herbei. Abgesehen davon, daß in dieser Weise der Strom und also auch das Licht keine constante Intensität erhalten können, tritt die Stromschwächung gerade zu einer Zeit ein, in welcher wegen der vergrößerten Bogenlänge ein stärkerer Strom erwünscht wäre. Ebenso können auch Unreinigkeiten der Lampenkohlen eine Vergrößerung des Widerstandes herbeiführen.

Man suchte die Abhängigkeit der Stromstärke von dem Widerstande im äußeren Stromkreise in verschiedener Weise zu vermeiden. Eine derselben besteht darin, daß man die Armatur mit doppelten Windungen versieht und die in einer Gruppe inducirten Ströme nur zur Erregung der Elektromagnete, die in der zweiten Gruppe erzeugten Ströme ausschließlich im äußeren Stromkreise verwendet. Ebenso können auch einzelne Spulen der Armatur mit den Elektromagnetwindungen in Verbindung gesetzt werden, während die in den übrigen Spulen inducirten Ströme in den äußeren Stromkreis abgeleitet werden. Derlei Maschinen stimmen principiell mit jenen magnet-elektrischen Maschinen überein, deren Magnete durch eine eigene Stromquelle erregt werden.

Eine häufig angewandte Schaltung ist in Figur 51 dargestellt. Bei dieser, der sogenannten **Nebenschlußschaltung**, theilen sich die durch die Bürsten aus der Armatur abgeleiteten Ströme bei a in zwei Zweige, indem ein Theil der Ströme durch die Windungen der Elektromagnete fließt, während der andere Theil den äußeren Stromkreis durch-

strömt. Bei b vereinigen sich beide Theilströme wieder und kehren zur Armatur zurück. Wir wissen, daß in verzweigten Leitern die Stromstärken in den einzelnen Zweigen sich umgekehrt verhalten, wie die Widerstände dieser Zweige. Sonach wird bei einer derartigen Schaltung die Stromstärke im äußeren Stromkreise durch das Verhältniß der Widerstände beider Stromkreise zu einander bestimmt sein und sich mit der Veränderung dieses Verhältnisses gleichfalls ändern.

Fig. 50. Fig. 51. Fig. 52.



Nimmt der Widerstand im äußeren Stromkreise zu, so wird ein größerer Stromantheil in die Elektromagnetwindungen fließen, und nimmt dieser Widerstand ab, so wird der Strom im Stromkreise der Elektromagnete abnehmen. Eine dynamo-elektrische Maschine, welche diese Schaltung besitzt, verhält sich also gewissermaßen umgekehrt, wie eine Maschine mit der vorbesprochenen Schaltung. Wenn wir hier beispielsweise wieder eine Lampe in den äußeren Stromkreis einschalten, wird die Erhöhung des Widerstandes in dieser Lampe durch die vorhin angegebenen Ursachen den Strom in den Elektromagnetwindungen ver-

stärken. Daher muß dann die elektromotorische Kraft des Stromes im äußeren Stromkreise wachsen. Umgekehrt wird diese abnehmen, wenn der Widerstand im äußeren Stromkreise abnimmt. Die Schaltung der Elektromagnete in Nebenschluß bewirkt daher eine Art Stromregulirung, entsprechend dem jeweiligen Bedürfnisse an Strom im äußeren Schließungskreise.

Wir haben bisher zweierlei Schaltungen kennen gelernt, nämlich die Schaltung der gewöhnlichen dynamo-elektrischen Maschine, bei welcher die Armatur- und Elektromagnetwindungen in einem Stromkreise, im Hauptschlusse liegen, und die Nebenschlußschaltung, bei welcher die Elektromagnetwindungen im Nebenschlusse zum Hauptstromkreise liegen.

Diese beiden Schaltungen entsprechen jedoch für eine Reihe von Anwendungen nicht den an sie gestellten Anforderungen. So wünscht man z. B. bei einer Beleuchtungsanlage für Glühlichter, daß diese in beliebiger, wechselnder Anzahl angezündet oder ausgelöscht werden können, wie es eben gerade der Bedarf erfordert.

Wendet man hierzu eine gewöhnliche dynamo-elektrische Maschine an, so tritt, abgesehen von dem unruhigen Brennen der Lampen, beim successiven Auslöschen derselben folgendes Verhalten ein: Beim Auslöschen der ersten Lampen brennen die übrigen heller, beim Abstellen weiterer Lampen wieder dunkler. Werden hierauf immer mehr Lampen ausgeschaltet, so nimmt die Leuchtkraft der noch in Thätigkeit bleibenden stetig ab und diese löschen schließlich ganz aus, d. h. die Maschine arbeitet nicht mehr. Dieses Verhalten ist durch die uns bereits bekannte Wirkungsweise der dynamo-elektrischen Maschine selbst bedingt. Uebersteigt der Widerstand des äußeren Stromkreises eine gewisse Größe oder ist der

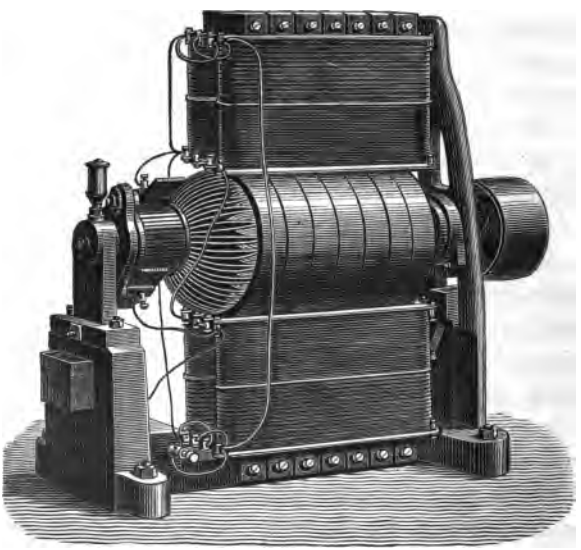
Stromkreis ganz unterbrochen, so können die in der Armatur durch den remanenten Magnetismus der Elektromagnete inducirten Ströme nicht mehr in die Windungen der Magnete gelangen, das successive Anwachsen des Stromes kann nicht mehr eintreten und die Magnete verlieren ihre Kraft.

Liegen die Elektromagnete im Nebenschlusse, so wird deren Kraft erhöht, wenn der Widerstand im Hauptstromkreise wächst. Die Nebenschlußmaschine kann daher bei variirenden Widerständen im Hauptstromkreise arbeiten, also auch für Glühlichtbeleuchtung in Verwendung kommen, unter der Voraussetzung, daß die Kraft der Elektromagnete den jeweiligen Umständen (also der Zahl der zu betreibenden Lampen) entsprechend regulirt wird. Edison bewirkt dies, wie wir später sehen werden, durch Einschaltung variabler Widerstände in den Stromkreis der Elektromagnete. Vortheilhaft arbeitet die Nebenschlußmaschine jedoch nur bei einem bestimmten Widerstande. Schaltet man bei Anwendung derselben nach und nach immer mehr Lampen aus, so wird, weil diese, um von einander unabhängig zu bleiben, alle parallel geschaltet sein müssen, der Widerstand im Arbeits- oder Hauptstromkreise immer größer werden, daher der Strom im Nebenschlusse, der Elektromagnetwindungen, fortwährend wachsen und die Kraft der Magnete selbst ebenfalls zunehmen. Die übrig bleibenden Lampen werden daher stets an Helligkeit gewinnen und schließlich der Gefahr einer Zerstörung ausgesetzt sein.

Die beiden Schaltungen zeigen also gewissermaßen ein entgegengesetztes Verhalten, indem bei der dynamo-elektrischen Maschine eine bestimmte kleine Lampenanzahl gar nicht zum Leuchten gebracht werden kann, während bei der Nebenschlußmaschine für eine solche geringe Anzahl die Ge-

fahr einer Zerstörung wegen zu großer Hitze eintritt. Es lag daher nahe, bei der Construction von Maschinen einen Mittelweg einzuschlagen, indem man beide Schaltungen combinirt. Dies ist nun auch in der That fast gleichzeitig von den Ingenieuren der Firmen R. E. Crompton, Sie-

Fig. 53.



mens & Halske und S. Schuckert ausgeführt worden, wodurch den beiden bereits früher bekannten Maschinen noch die **Compoundmaschine** oder **Maschine mit constanter Klemmspannung** zugefügt wurde.

Ein einfaches Schema dieser gemischten Schaltung oder Compoundwicklung ist in Fig. 52 dargestellt, aus welcher auch die Ableitung dieser Schaltung aus den beiden vorbesprochenen (in Fig. 50 und 51 dargestellten) leicht zu

erkennen ist. Der durch dicke Linien dargestellte Stromkreis ist identisch mit dem Stromkreise in Fig. 50 und der durch dünne Linien dargestellte stimmt mit dem Nebenschlusse in Fig. 51 überein. Eine derartige Maschine arbeitet innerhalb der durch ihre Größe und Construction bestimmten Grenzen mit jedem beliebigen Widerstande im äußeren Stromkreise immer gleichmäßig und auch immer mit demselben Güteverhältnisse.

In Fig. 53 ist eine Maschine mit constanter Klemmspannung von Siemens & Halske dargestellt. Bei diesem Modelle ist die doppelte Bewicklung der Elektromagnetschenkel in der Weise durchgeführt, daß jeder Schenkel zur Hälfte mit dickem, zur Hälfte mit dünnem Drahte versehen wurde. Natürlich kann, ohne das Princip oder die Wirkungsweise zu ändern, die doppelte Bewicklung auch in anderer Weise ausgeführt werden; es können z. B. je zwei der vier Elektromagnetschenkel dünnen und die beiden anderen dicken Draht erhalten, oder es kann auch jeder Elektromagnetschenkel beiderlei Drähte übereinander gelagert bekommen, wie dies im Schema Fig. 52 angenommen ist.

4. Maschinenbestandtheile.

Wenden wir nun unsere Aufmerksamkeit den einzelnen Theilen der Maschine zu, so haben wir sie sowohl in Bezug auf ihre magnetische oder elektrische Wirksamkeit, als auch bezüglich ihrer mechanischen Constructionen zu betrachten. In Betreff der ersteren lassen sich keine allgemein giltigen Regeln aufstellen, da verschiedene Zwecke, welchen die Maschinen dienen sollen, auch die Erfüllung verschiedener Forderungen beanspruchen. So richtet sich der Durchmesser der Drähte nach der gewünschten Stromstärke. Be-

deutenden Einfluß auf das Arbeiten der Maschine hat das Verhältniß der Windungszahlen auf der Armatur und den Elektromagneten, doch läßt sich auch hierüber nichts Allgemeines angeben, da dieses Verhältniß durch die Eisenconstruction und magnetische Disposition beeinflußt wird.

Bei den Elektromagneten sind runde den flachen vorzuziehen, weil erstere bei gleichem Umfange einen kleineren Querschnitt und folglich auch einen kleineren Widerstand besitzen. Bei großen Polschuhen, wo also große Eisenmassen zu magnetisiren sind, erweist sich die Anwendung mehrerer Magnete vortheilhaft (Maschinen von Edison).

Die Drahtgruppen oder Spulen hat man nach Uppenborn so zu bemessen, daß im Mittel nicht mehr als 20 V Spannungsdifferenz zwischen zwei Stromabgeber-Lamellen vorhanden sind. Die genaue Anzahl wird natürlich nach den Dimensionen der Drähte berechnet und ist derart zu wählen, daß möglichst wenig Platz auf dem Anker leer bleibt.

Die magnetische Anordnung hat namentlich folgenden Forderungen zu entsprechen: Die Magnetpole sind so anzubringen, daß möglichst wenige Kraftlinien von Pol zu Pol gelangen, ohne die Drähte, welche für die Induction bestimmt sind, zu schneiden. Der Eisenkern der Armatur muß den Polschuhen der Magnete möglichst nahe kommen können. Die zu inducirenden Drähte müssen so geführt werden, daß ein möglichst großer Theil derselben zum Durchschnitte mit den Kraftlinien kommt, da die übrigen Drähte nicht nur nutzlos sind, sondern auch noch den todten Widerstand vermehren. Es wurde bereits erwähnt, daß, um das Zustandekommen der Foucault'schen Ströme zu verhindern, der Eisenkern aus einzelnen Theilen, Drähten, Scheiben u. dgl. zusammenzusetzen ist.

Große Sorgfalt ist auf die Isolirung in allen Theilen der Maschine zu verwenden; die Isolirung soll so stark sein, daß sie das $1^1/_2$fache der Spannung aushalten kann, welche entsteht, wenn eine oder die andere Klemme an die Erde gelegt wird. (Uppenborn.)

In mechanischer Beziehung sind namentlich der Bau und die Anordnung jener Theile wichtig, welche der Abnützung durch den Gebrauch am meisten unterliegen. Zu diesen gehören die Axenlager, der Stromabgeber und auch der rotirende Theil (Anker oder Elektromagnete). Die Axenlager sollen breit, solid befestigt, leicht zugänglich und mit ausreichenden Schmiervorrichtungen versehen sein.

Am meisten unterliegt der Stromabgeber der Abnützung. Letztere wird befördert durch starke Funkenbildung und auch durch Verunreinigung mit Schmieröl, wenn die Schmiervorrichtung nicht so angeordnet ist, daß auf den Stromabgeber kein Schmieröl gelangen kann. Die Funkenbildung ist bei Erzeugung von Strömen hoher Spannung unter sonst gleichen Umständen stärker als bei Anwendung geringer Spannung. Die Mittel, welche man anwendet, um die Funkenbildung zu vermeiden, haben wir schon bei den einzelnen Maschinen kennen gelernt (Nebenbürste von Edison, alternirende Wicklung der Armaturdrähte bei Weston u. s. w.). Zur Abnützung des Stromabgebers durch Verbrennung infolge der Funkenbildung kommt noch jene durch chemische und mechanische Einwirkung, wenn das Schmieröl auf die Kupfersectoren fließt. Durch die elektrischen Funken bilden sich Zersetzungsproducte des Oeles, die den Stromabgeber rascher zerstören helfen, und das Oel selbst kann, mit Staub, Metalltheilchen ꝛc. vermengt, die Isolirungen zwischen den einzelnen Sectoren verderben. Es ist deshalb darauf zu achten, daß durch Construction oder Anordnung der Zutritt

des Schmieröles zum Stromabgeber unmöglich gemacht wird. Da aber auch bei Beachtung dieser Punkte der Stromabgeber immer jener Theil bleibt, der sich am raschesten abnützt, so verdienen jene Maschinen den Vorzug, welche ein rasches und einfach auszuführendes Auswechseln derselben gestatten.

Aehnlich verhält es sich mit den rotirenden Spulen; diese können dadurch unbrauchbar werden, daß der elektrische Strom die Isolirung durchschlägt, oder daß diese durch die Erwärmung oder andere Ursachen zu Grunde geht. Ferner können auch Drahtbrüche an der einen oder anderen Stelle eintreten. Es wird daher als Vorzug einer Maschine gelten, wenn sie in leichter Weise die Auswechslung der schadhaften Spule gestattet.

Hat man bei der Construction der Maschine diesen Umständen nicht Rechnung getragen, so erfordert die Sicherheit des Betriebes einer solchen Maschinenanlage die Beigabe von Reserve-Armaturen.

Die Vor- und Nachtheile der Ströme hoher und geringer Spannung, der Wechsel- und gleichgerichteten Ströme hängen mit der speciellen Verwendung der Elektricität innig zusammen und können daher nicht allgemein erörtert werden.

Wir haben schließlich noch die Frage zu besprechen, ob es bei Bedarf mächtiger Ströme für ausgedehnte Anlagen zweckmäßiger sei, den Maschinen dementsprechende kolossale Dimensionen zu geben, oder mit der Größe derselben nur bis zu einer gewissen Grenze zu gehen und dann eine nach dem Strombedarf bemessene Anzahl solcher Maschinen zur Stromlieferung in einer gemeinschaftlichen Leitung zu verbinden. Wir müssen hier eingestehen, daß heutzutage noch zu wenig praktische Erfahrungen vorliegen, um diese Frage mit Sicherheit zu entscheiden. Während John

Perry die Maschinen in riesigen Dimensionen ausgeführt sehen will, neigen sich einige deutsche Gelehrte mehr der Ansicht zu, es sei mit der Vergrößerung der elektrischen Maschinen nicht gar zu weit zu gehen, dafür sollen aber diese Maschinen in ganzen Batterien zur Anwendung gelangen. In der Praxis sind gegenwärtig bereits beide Wege versucht worden; man hat sowohl kleinere Maschinen gekuppelt als auch Maschinen von bedeutenden Dimensionen gebaut. Zu letzteren zählen z. B. die Maschinen von Edison, Gérard, Gordon u. s. w.

III.

Secundärelemente und Transformatoren.

Im selben Maße als die Ausdehnung eines Bezirkes wächst, welcher von einer Centralstelle aus mit Elektricität versehen werden soll, nimmt auch die Schwierigkeit der Stromleitung zu. Man gelangt dann bald zu so bedeutenden Querschnitten für die Kupferleitungen, daß einer Weiterführung derselben durch die abnormen Kosten ein Ziel gesetzt wird, die bedeutend rascher (im quadratischen Verhältnisse) als die Länge der Leitungen wachsen. Bei so ausgedehnten Betrieben wird überdies die Forderung nicht zu umgehen sein, daß durch die Centrale Objecte mit Strom versehen werden, die elektrisch einander ganz ungleichwerthig sind, oder mit anderen Worten, daß durch diese Centrale, wenn wir von anderen Anwendungen vielleicht gegenwärtig

noch absehen, Bogen- und Glühlampen mit ganz verschiedenem Strombedarf betrieben werden müssen.

Dieser und speciell der ersterwähnten, hauptsächlich in Betracht zu ziehenden Schwierigkeit kann man wirksam begegnen, indem man für die Stromvertheilung nachstehendes Princip annimmt: Man erzeugt an der Centralstelle Ströme hoher Spannung und leitet diese an die Verbrauchsstellen; an letzteren stellt man dann Apparate auf, welche geeignet sind, die hochgespannten Ströme in solche Ströme umzuwandeln, als an der betreffenden Verbrauchsstelle eben erforderlich sind. Gelingt letzteres, so werden die kostspieligen massigen Kupferleitungen überflüssig und an deren Stelle treten billige Drahtleitungen. Diese Idee ist nicht neu und wurde in der That schon vor längerer Zeit ausgesprochen — verhältnißmäßig neu sind aber die praktischen Ausführungen derselben. Zur Umwandlung der elektrischen Energie stehen uns gegenwärtig zweierlei Wege offen, nämlich: die Anwendung der Secundärelemente oder der Accumulatoren und jene der Inductionsapparate. Bei den ersteren erfolgt dann die gewünschte Umwandlung der elektrischen Energie durch entsprechende Schaltung, bei den letzteren durch eine entsprechende Wahl der Wicklungsverhältnisse für die primäre und secundäre Spirale.

1. Secundärelemente.

Leitet man den galvanischen Strom unter Vermittlung zweier Platinbleche durch Wasser, so wird dieses zersetzt und der an der positiven Elektrode ausgeschiedene Sauerstoff überzieht die positive Elektrode, der Wasserstoff die negative. Verbindet man hierauf die beiden Platinelektroden unter einander (mit Ausschluß der früher benützten

Stromquelle), so hat man in diesem Schließungsbogen selbst wieder ein galvanisches Element, zusammengesetzt aus Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser. Dieses sendet daher einen Strom durch den Schließungsbogen, der so lange anhält, als noch Wasserstoff an der einen und Sauerstoff an der anderen Platinplatte vorhanden ist.

Es wurde also durch Einleitung eines Stromes in den Wasserzersetzungsapparat, das Voltameter, eine derartige physikalische Veränderung der Platinelektroden bewirkt, daß nun das Voltameter selbst sich in ein galvanisches Element verwandelte; dieses zweite Element ist also durch die Thätigkeit des ersten (oder richtiger der ersten, da ein Element das Wasser nicht zersetzt) entstanden, und deshalb nennt man das erstere, oder überhaupt die galvanischen Elemente Primärelemente, das letztere Secundärelement. Die eben angegebenen Processe scheinen also in der That eine Aufspeicherung der Elektricität darzustellen, denn die in das Voltameter hineingeleitete Elektricität des Primärelementes kann, sobald man das Voltameter für sich schließt, wieder herausbekommen werden. Allerdings ist es nicht ein Aufspeichern der Elektricität wie im Condensator oder der Kleist'schen Flasche, sondern ein Umwandeln von Elektricität in chemische Spannkraft und darauf folgend die Zurückverwandlung in den ursprünglichen Zustand. Der primäre Strom trennte Wasserstoff und Sauerstoff von einander und speicherte diese in den Elektroden auf; im Secundärelemente vereinigen sich Sauerstoff und Wasserstoff wieder — die chemische Spannkraft verschwindet also — und hierfür tritt neuerdings Elektricität auf. Das Secundärelement ist also, strenge genommen, kein Aufspeicherungsapparat für Elektricität, sondern ein Apparat, durch welchen Elektricität in chemische Spannkraft umge-

wandelt wird, die dann durch entsprechende Auslösung wieder im Stande ist, Elektricität zu liefern. *)

Wie verhält es sich nun mit der praktischen Verwendbarkeit dieses Verfahrens? Die Anwendung des einfachen Voltameters, d. h. zweier Platinbleche in angesäuertem Wasser, als Secundärelement zeigt wohl, daß hier der richtige Weg eingeschlagen wurde, um brauchbare Resultate zu erlangen, daß aber das Voltameter selbst noch nicht der praktisch verwerthbare Apparat ist. Die Platinbleche absorbiren eine viel zu unbedeutende Quantität von Wasserstoff und Sauerstoff; die Wirkung eines solchen Secundärelementes dauert deshalb sehr kurze Zeit oder, anders ausgedrückt, das Voltameter ist nicht im Stande, größere Mengen von Elektricität in Form chemischer Spannkraft aufzuspeichern. An die Anwendung eines anderen Körpers als des Platins, nämlich die des Palladiums, welches eine bedeutend höhere Absorptionskraft besitzt, kann leider nicht gedacht werden, da der Preis dieses Materiales ein viel zu hoher ist.

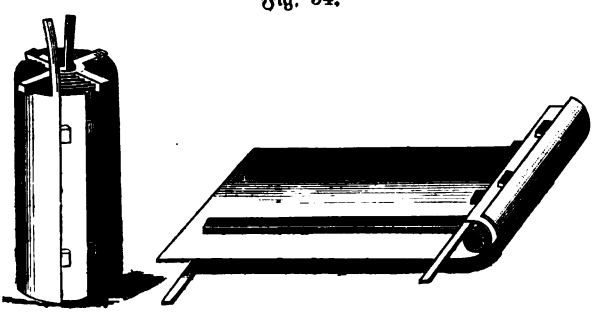
Es kann jedoch die Veränderung der Elektroden auch noch auf andere als physikalische Weise bewirkt werden, die einen praktischen Erfolg wahrscheinlicher macht; es ist dies die Oxydation beziehungsweise Reduction der Elektroden oder die chemische Umwandlung derselben. Die eine Elektrode verbindet sich mit dem durch den primären Strom ausgeschiedenen Sauerstoff, der anderen Elektrode wird durch den Wasserstoff Sauerstoff entzogen oder, mit anderen Worten, die eine Elektrode wird oxydirt, die andere reducirt. Verbindet man dann beide Elektroden unterein-

*) Diese Erwägung zeigt auch, daß die Bezeichnung Accumulator für Secundärelement eine unrichtige ist.

ander, so hat man ein Secundärelement, welches so lange Elektricität liefern wird, als die oxydirte Elektrode noch Sauerstoff abgeben kann. Nach diesem Principe sind nun auch in der That die gegenwärtig in Gebrauch stehenden Secundärelemente construirt.

Der Erste, dem es gelang, ein praktisch verwendbares Secundärelement herzustellen, ist **G. Planté**. Nach vielfachen Versuchen wählte er als zweckmäßigstes Material das Blei und gab für die Herstellung der Elemente folgen-

Fig. 54.



des Verfahren an. Zwei mit Fahnen (Ableitungsstreifen) versehene, 1 bis 1·5 mm starke Bleiplatten werden mit Zwischenschaltung von 0·5 cm starken Gummistreifen aufeinandergelegt und dann gleich einer doppelten Papierrolle zusammengerollt (Fig. 54). Um den so erhaltenen Bleicylinder zusammenzuhalten, wird er mit einem Ebonitkreuze versehen. Dann stellt man ihn in ein mit verdünnter Schwefelsäure (gewöhnlich 1 zu 10) gefülltes Gefäß aus Glas oder Guttapercha und verschließt dieses durch einen Deckel. Letzterer ist mit einigen Oeffnungen versehen, um die Fahnen durchzulassen und den sich entwickelnden Gasen

freien Abzug zu gestatten. Zur Ladung eines derartigen Elementes genügen z. B. zwei Bunsen-Elemente, die man hintereinander schaltet und mit den Bleifahnen verbindet.

Bei der Ladung des Secundärelementes, d. h. also beim Einleiten eines elektrischen Stromes in dasselbe, gehen nachstehende Processe vor sich. Der elektrische Strom zersetzt das Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff und scheidet hierbei den ersteren an der positiven, den letzteren an der negativen Bleiplatte ab. Dadurch wird die positive Bleiplatte an ihrer Oberfläche oxydirt und erhält auf diese Weise einen braunen Ueberzug von Bleisuperoxyd; die negative Bleiplatte bleibt blank. Verbindet man nun beide Platten durch einen Draht, so circulirt durch diesen ein Strom, hervorgerufen durch ein Element, welches aus Bleisuperoxyd, Blei und verdünnter Schwefelsäure besteht. In diesem Elemente geht nun der Strom umgekehrt wie bei der Ladung, weshalb jetzt der Wasserstoff an der Bleisuperoxydplatte abgeschieden wird und auf diese reducirend wirkt; dem Bleisuperoxyd wird also der Sauerstoff entzogen und dieses selbst wieder in Blei verwandelt. Das Ende dieser Umwandlung bedeutet auch das Ende des Stromes; das Secundärelement ist dann entladen.

Aus diesen Thatsachen ersieht man, daß durch das Laden des Secundärelementes chemische Veränderungen der Bleiplatten in der Art bewirkt werden, daß diese dann geeignet erscheinen, ein galvanisches Element zu bilden: die Entladung ist die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes und wieder ein chemischer Proceß. Man entnimmt aber hieraus, daß das Secundärelement nicht als eine Aufspeicherungsvorrichtung speciell für Elektricität betrachtet werden kann, sondern daß es nur zur Aufspeicherung einer wieder auslösbaren Energie überhaupt dient.

Sehr wichtig ist die Rolle, welche die Schwefelsäure bei den chemischen Veränderungen im Secundärelemente spielt. Worin diese besteht, wird sofort klar werden, wenn deren Wirkung ins Auge gefaßt wird. Die Schwefelsäure verbindet sich mit dem Blei zu einer schwer löslichen Verbindung, dem Bleisulfate; dieses überzieht die Bleiplatten mit einer weißen Schichte und verhindert die weitere Einwirkung der Schwefelsäure auf das Blei. Der beim Laden des Secundärelementes in dasselbe eingeleitete elektrische Strom zersetzt das Bleisulfat und bildet an der positiven Bleiplatte Bleisuperoxyd, an der negativen Platte Blei, welches als schwammige Masse zurückbleibt. Die Schwefelsäure bewirkt also eine Auflockerung des Bleies, d. h. sie vergrößert die Oberfläche und somit auch die Wirksamkeit der Platten. Bei mehrmals wiederholtem Laden und Entladen des Secundärelementes, was man das Formiren des Elementes nennt, vermehrt die Schwefelsäure durch ihre Einwirkung die aufgelockerte Masse, und dies ist die Ursache, warum ein Secundärelement bei längerem Gebrauche wirksamer wird. Die Schwefelsäure gewährt aber dem Secundärelemente noch einen weiteren Vortheil. Ist nämlich das Element geladen, also an der positiven Platte Bleisuperoxyd gebildet, so wird dieses an der Oberfläche in Bleisulfat umgewandelt. Letzteres überzieht die Bleisuperoxydschichte mit einer schwer löslichen Hülle und verhindert so die weitere Zersetzung des Superoxydes. Dies hat zur Folge, daß das Element seine Ladung lange Zeit erhält; Planté gibt an, daß ein derartiges Element vier Wochen geladen bleibt. Wäre dies nicht der Fall, so müßte das Secundär-Element kurze Zeit nach seiner Ladung benützt, d. h. entladen werden, womit es seine werthvollste Eigenschaft verloren hätte. In diesem Verhalten der

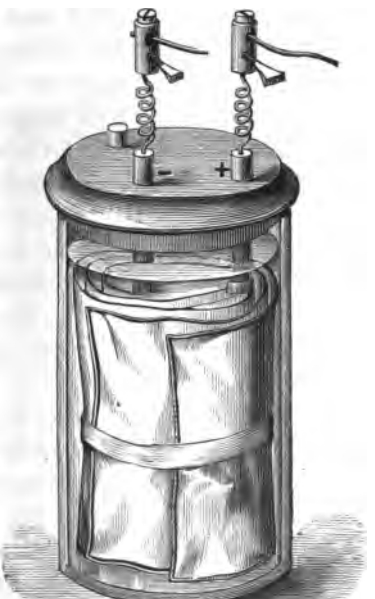
Schwefelsäure zum Blei und dem Oxyde desselben liegt auch der Grund, warum immer diese Combination zur Construction von Secundärelementen gewählt wird.

Von jenen Secundärelementen, bei welchen durch gewisse Präparirung die Dauer der Formirung abgekürzt wird, und bei denen man die Aufspeicherungsfähigkeit dadurch zu erhöhen trachtet, daß man die wirksame Schichte dicker macht, ist in erster Linie das Secundärelement von Faure zu nennen.

Camillo Faure nimmt dem Ladungsstrome einen Theil der Arbeit dadurch ab, daß er an Stelle blanker Bleiplatten solche anwendet, die mit Minium (Blei-Sauerstoffverbindungen) überzogen sind. Bevor wir jedoch auf das Verhalten dieses Ueberzuges selbst eingehen, wollen wir vorerst die mechanische Construction des Elementes kennen lernen. Zur Herstellung der Faure'schen Secundär-Batterie bedient man sich zweier Bleistreifen von 200 mm Breite; der eine ist 600 mm lang und 1 mm dick, der andere 400 mm lang und 0·5 mm dick, beide erhalten am Ende eine kräftige Bleifahne. Jede Bleiplatte wird alsdann mit Minium, welches mit verdünnter Schwefelsäure zu einem Brei angerührt wurde, belegt; die große Platte erhält 800, die kleine 700 g. Man bedeckt hierauf das Minium mit einem Blatte Pergamentpapier, hüllt das Ganze in einen Filzüberzug, legt die Platten übereinander und rollt sie unter Zwischenlage von Kautschukbändern auf. Schließlich stellt man die Rolle in ein cylindrisches Gefäß aus Blei, welches innen mit Minium und Filz ausgekleidet ist und auch an der Wirkung participirt, da die eine Bleifahne der Rolle an dasselbe angelöthet ist. Ein solches Element wiegt ohne Flüssigkeit 8500 g.

Die Form, welche Reynier dem Faure-Elemente gegeben hat, ist in Fig. 55 dargestellt. Hierbei ist das Bleigefäß durch einen Glascylinder ersetzt, was den Vortheil gewährt, die Vorgänge im Elemente beobachten zu können.

Fig. 55.



Da Filz bald zerstört wird, setzt Reynier an dessen Stelle Schafwollgewebe.

Nach der bei dem Planté-Elemente gegebenen Darstellung der chemischen Processe ist über jene, welche im Faure-Elemente auftreten, wenig beizufügen. Sobald die mit Minium belegten Platten in die Schwefelsäure eingesenkt sind, bildet sich aus dem Minium Bleisuperoxyd

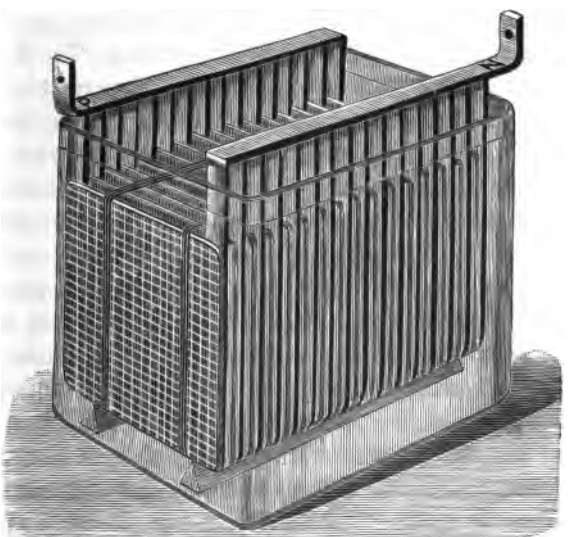
und Bleisulfat. Der Ladestrom hat dann auf einer Platte die Superoxydbildung nur mehr zu vervollkommnen und auf der anderen die Bleiverbindungen zu reduciren. Diese Stromarbeit wird noch dadurch erleichtert, daß der Ueberzug auf beiden Platten ein pulverförmiger ist, der den Gasen leichten Zutritt gewährt.

Statt die Platten zu rollen, kann man auch Platten mit rechteckigem Querschnitt parallel nebeneinander und entsprechend verbunden in einem passenden Trog einsetzen und verwenden. Nach Uppenborn's Angaben besitzt ein Faure'sches Element eine elektromotorische Kraft von 2 V und ein Gewicht von 25 kg. Mit drei Siemens-Maschinen (Modell D_2) können 150 Elemente in beiläufig zehn Stunden geladen werden. Stehen sie dann unbenützt, so verlieren sie 1·5 bis 2 Prozent ihrer Ladung pro Tag. Zum Betriebe eines Motors verwendet, kann ein Faure-Element sechs Stunden lang eine Arbeit von 2 s-m-kg leisten.

Einer großen Verbreitung erfreuen sich gegenwärtig die Accumulatoren der **Electrical Power Storage Company.** Diese verwendet zu ihren Accumulatoren gitterförmig gegossene Bleiplatten, deren Oeffnungen bei den positiven Platten mit einem Schwefelsäure-Mennige-Brei, bei den negativen Platten mit einem Brei aus Bleiglätte und Schwefelsäure oder auch Magnesiumsulfat ausgefüllt werden. Die »Formirung« dieser Platten erfolgt in der Weise, daß man sie längere Zeit als Elektroden bei einer kräftigen Wasserzersetzung verwendet. Dann legt man die Platten, und zwar abwechselnd eine negative und eine positive, aufeinander, schließt dabei mit einer negativen und verhindert die Berührung der Platten unter einander dadurch, daß man kleine Plättchen aus vulcanisirtem Kautschuk dazwischen

legt; auf die beiden Endplatten kommt dann je eine Glasplatte, worauf sämmtliche Platten durch zwei starke Kautschukbänder zu einem Ganzen vereinigt werden. Man verbindet dann durch kräftige Bleiplatten einerseits alle positiven und anderseits alle negativen Platten unter ein-

Fig. 56.



ander, und setzt sie in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß aus Glas oder auch aus Pockholz ein. Wie Fig. 56, welche eine große Type dieser Accumulatoren darstellt, erkennen läßt, ruhen die Platten nicht unmittelbar auf dem Boden des Glasgefäßes auf, sondern stehen vielmehr auf den Kanten zweier Glasprismen. Man bezweckt durch diese Anordnung, daß eine metallische Verbindung der Platten unter einander, infolge einer Ansammlung

etwa von der wirksamen Masse abgelöster Theilchen, unmöglich gemacht wird.

Schenek und **Farbaky** verwenden bei ihren gleichfalls aus gitterförmig gegossenen Bleiplatten gebildeten Accumulatoren Mennige und Bleiglätte mit einem geringen Cokezusatz für die positiven, und Bleiglätte mit Bimsstein für die negativen Platten; in beiden Fällen werden die gut gemengten Füllmassen mit Schwefelsäure zu einem Teige von entsprechender Consistenz geknetet. Die Auseinanderhaltung der einzelnen Platten im Accumulator wird durch zwischengelegte paraffinirte Holzstäbe erreicht und die Herstellung kurzer Schlüsse während des Betriebes durch Abbröckeln u. dgl. durch Einschaltung je eines Blattes aus nitrirtem Filtrirpapier zwischen je zwei aufeinander folgende Platten, die überdies auch noch nicht direct auf den Boden des Gefäßes, sondern auf untergelegte, gleichfalls paraffinirte Holzstäbe gestellt sind. Die Vereinigung sämmtlicher Platten eines Accumulators zu einem compacten Körper wird durch eine eiserne Gußform vermittelt, welche man über dieselben bringt und dann mit Blei ausgießt. Als Gefäße verwenden Schenek und Farbaky Holzkisten, welche mit Blei ausgekleidet sind und mit einem mit Blei überzogenen Holzdeckel durch Verlöthung verschlossen werden. Durch diesen Deckel ragen in isolirter Führung die beiden Elektroden heraus, eine gewöhnlich verschlossene, etwas größere Oeffnung im Deckel dient zum Nachfüllen und Nachsehen.

2. Transformatoren.

Ohne auf die historische Entwicklung der Secundärgeneratoren, Transformatoren und Volta-

Inductoren und wie derlei Apparate auch sonst noch genannt werden mögen, näher einzugehen, stellen wir hier nur fest, daß die erste praktisch durchgeführte Installation mit solchen Apparaten Gaulard & Gibbs zuzuschreiben ist; seither sind diese Apparate aber allerdings schon von verschiedenen Seiten mannigfach verbessert worden.

So existiren gegenwärtig, außer von den genannten Erfindern, Transformatoren für Wechselströme von Lowrie-Hall, Ferranti, Kennedy, Morbey, Snell und Kapp, Statter, Westinghouse, Zipernowski-Déri-Bláthy, ferner solche für Gleichströme von Cabanellas, Edison, Jehl und Rupp, Paris und Scott.

Für Nordamerika, wo die Stromvertheilung durch Transformatoren bereits vielfache Anwendung findet, hat die Maschinenfabrik Westinghouse die Patente von Gaulard & Gibbs erworben. Der von dieser Fabrik gebaute Transformator oder »Converter« besteht aus zwei flachgedrückten, langgestreckten Ringen (Fig. 57), von welchen der eine aus den primären, der andere aus den secundären Drahtwindungen gebildet ist. Diese Ringe werden von einer Eisenmasse, die von den ersteren durch Papier isolirt ist, und deren eigenthümliche Construction aus Fig. 58 zu ersehen ist, umhüllt. Eisenbleche werden nämlich derart geschnitten, daß sie nach Zurückschlagen der Theile f_3 f_4 die Gestalt eines E erhalten; in dieser Form lassen sie sich dann leicht, abwechselnd von der einen und von der anderen Seite über die Ringe schieben und bilden in ihrer Gesammtheit eine Eisenmasse, welche die Ringe fast von allen Seiten umschließt. Rahmen und dazu gehörige Bolzen dienen dazu, um die Eisenscheiben zusammenzudrücken und zu einem Ganzen zu vereinigen.

Um den Converter gegen das Eindringen von Näſſe zu ſchützen, iſt er in einer gußeiſernen Büchſe vollkommen luftdicht eingeſchloſſen. Letztere iſt mit zwei Schaltungs-

Fig. 57.

Fig. 59.

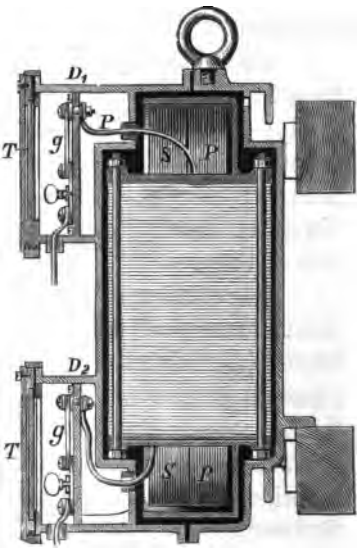
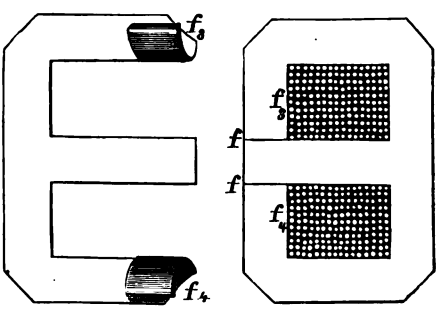
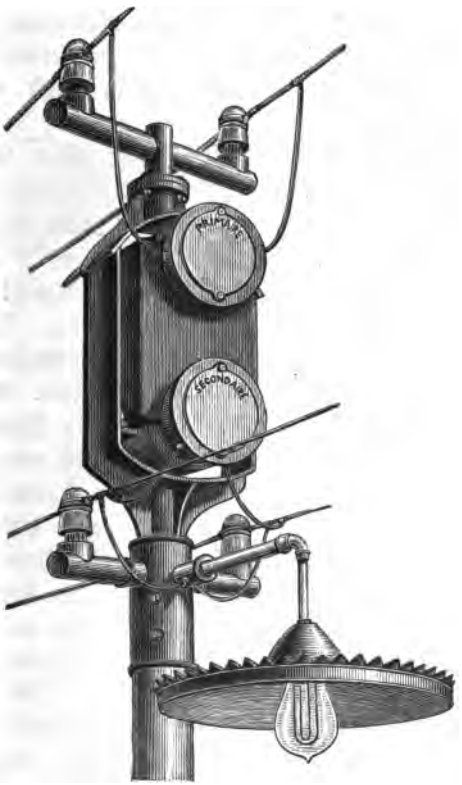


Fig. 58.



öffnungen T (Fig. 59) versehen, die in der Regel durch eine Glasscheibe und einen eisernen Deckel verschlossen sind.

Fig. 60.



Schiebt man letzteren zurück, so erblickt man in der oberen Oeffnung die Stromzuführung für die primäre Spirale P und in der unteren Oeffnung die Zuführungen für die secundäre Spirale S, jede versehen mit der Bleisicherung g.

Diese Transformatoren werden in verschiedenen Größen gebaut, zumeist aber als kleine Theilungskästen verwendet, die man ganz zweckmäßig auf hohen Masten (Fig. 60) anbringt. Dieselben tragen gleichzeitig zwei Isolatorenpaare, das obere für die stets oberirdisch geführten primären Leitungen, das untere für die secundären oder Vertheilungsleitungen und gewöhnlich auch noch eine Straßenlaterne.

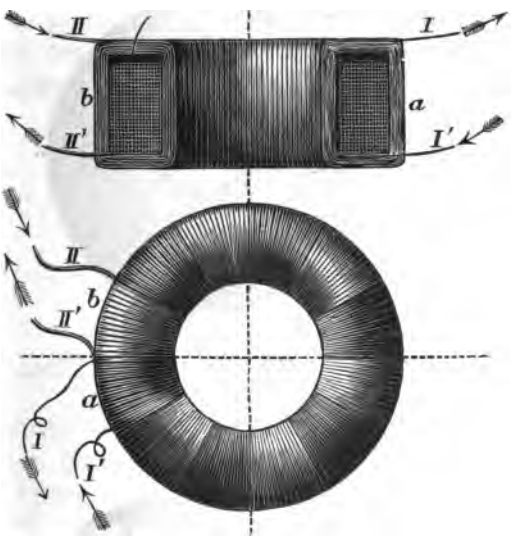
Dieses System scheint sich trotz seiner Einfachheit recht gut zu bewähren, denn es sollen nicht nur zahlreiche Stationen im Betriebe stehen, sondern auch fortwährend neue errichtet werden.

Auch der von der Firma **Ganz & Co.** erzeugte »Transformator« gewinnt täglich an Verbreitung. Dieser von Bláthy, Déri und Zipernowsky construirte Apparat ist in den Figuren 61, 62 und 63 abgebildet. Er ist, wie Fig. 61 erkennen läßt, dem Gramme'schen Ringe ähnlich geformt. Den Kern des Ringes bildet ein Eisendrahtbündel, um welches die primären und secundären Kupferdrähte gewickelt sind. Die Figuren 62 und 63 stellen hingegen eine umgekehrte Anordnung dar, indem die isolirten Kupferdrähte in zwei oder mehreren Spiralen den Kern bilden, der auch hier die Form eines Ringes erhalten hat, während die äußere Umhüllung durch eine dichte Umwicklung mit dünnen Eisendrähten hergestellt ist; hierbei sind die Windungen der letzteren senkrecht auf die Längsrichtung des ersteren angeordnet. Die Isolirung zwischen den beiderlei Windungen ist durch eine lackgetränkte Shirtinghülle gebildet. Durch diese Gesammtanordnung wird erzielt, daß die elektrischen Ströme in den Kupferdrähten in Kreisen verlaufen, welche auf die gleichfalls in Kreisen verlaufenden magnetischen Kraftlinien senkrecht stehen, wodurch man eine

kräftige Inductionswirkung erhält. Was endlich die magnetische Isolirung der Eisendrähte unter einander anbelangt, so mag noch bemerkt werden, daß diese durch einen Lacküberzug oder durch Baumwollüberspinnung erreicht ist.

Weniger bekannt geworden als die beiden vor-

Fig. 61.



beschriebenen Transformatoren und überhaupt als solche für Wechselströme sind die für Gleichströme. Wir begnügen uns auch daher damit, nur eines dieser Systeme nachstehend kurz anzudeuten.

Jehl und Rupp winden den primären Stromkreis in Gramme'scher Weise auf einen Hohlcylinder $A A_1$ (Fig. 64) und den secundären Stromkreis nach Art der Trommelwicklung auf einen innerhalb befindlichen Vollcylinder

Fig. 62.

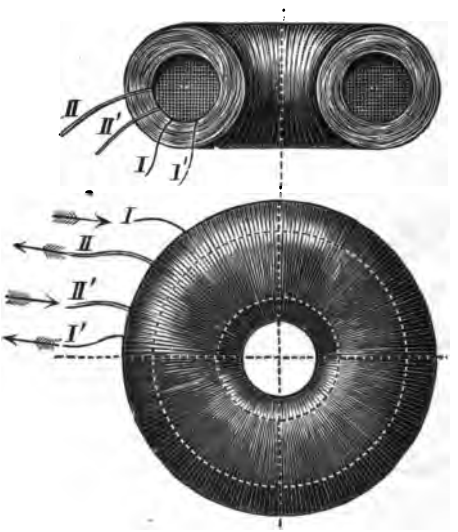
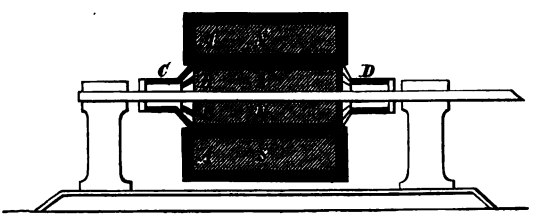


Fig. 63.

B B; das magnetische Doppelfeld, welches hier gebildet wird, ist durch die Buchstaben N S angezeigt. Um hierbei die magnetischen Kraftlinien so viel als möglich in Eisen verlaufen zu lassen, sind die Trommelwicklungen, soweit sie auf die Mantelfläche zu liegen kommen, aus Eisenstäben gebildet, während die an den Stirnseiten befindlichen Verbindungen, um den magnetischen Kreis zu unterbrechen, aus Kupfer hergestellt werden.

Da durch ununterbrochene Gleichströme direct keine Inductionsströme hervorgerufen werden können, bedarf es

Fig. 64.

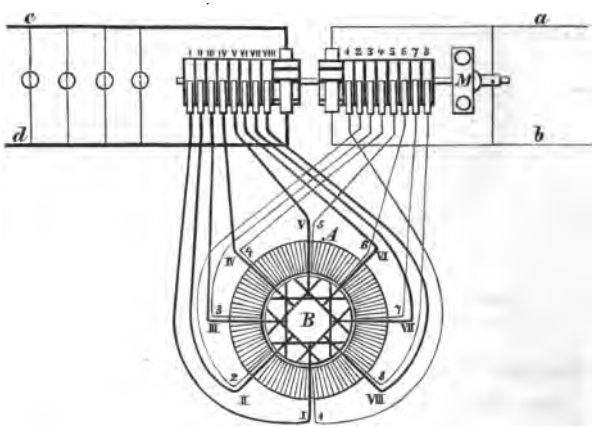


zum Betriebe derartiger Transformatoren eines Commutators oder Vertheilers irgend welcher Construction. Ein solcher »Vertheilungs-Commutator« ist z. B. in Fig. 65 schematisch dargestellt. Mit A ist wieder der in Grammescher Weise bewickelte Hohlcylinder, mit B die Trommel bezeichnet, wobei beide als mit achttheiligen Wicklungen versehen gedacht sind.

Der Vertheilungs-Commutator besteht aus zwei gleichen Hälften, dem Primär-Commutator für den primären Stromkreis a b und dem Secundär-Commutator für den secundären oder Lampenstromkreis c d und wird von dem kleinen Elektromotor M, den ein Zweigstrom des Hauptstromes speist, in Umdrehung versetzt. Jede dieser Commutator-

hälften besteht aus einem Cylinder von Holz oder einem anderen isolirenden Materiale, auf welchem ein achttheiliger Commutator von der Form jener an dynamo-elektrischen Maschinen befestigt ist; auf diesem schleift ein mit dem primären (a b), beziehungsweise secundären Stromkreise (c d) verbundenes Bürstenpaar. Rechts und links von diesen Commutatoren sind je acht von einander isolirte Metall-

Fig. 65.

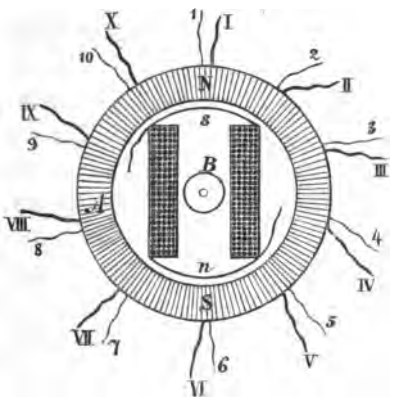


ringe 1 bis 8 und I bis VIII auf dem Holzcylinder aufgesetzt und durch dicke, in letzteren eingelassene Kupferdrähte der Reihe nach mit den einzelnen Segmenten des zugehörigen achttheiligen Commutators leitend verbunden. Auf diesen Ringen schleifen je acht Bürsten, die mit den acht Spulengruppen des primären, beziehungsweise des secundären Stromkreises leitend verbunden sind.

Die Wirkungsweise des ganzen Apparates ist hiernach leicht zu überblicken. Sobald der Vertheilungs-Commutator durch den Motor M in Umdrehung versetzt wird,

durchfließt der Maschinenstrom der Reihe nach die Spulengruppen 1 bis 8 des primären Stromkreises, während der transformirte oder Inductionsstrom ebenso der Reihe nach aus den Spulen I bis VIII des secundären Stromkreises abgeleitet und den Lampen zugeführt wird. Es möge hierzu nur noch bemerkt werden, daß die Zahl der Schleifringe des Commutators durch Theilung der Ringe bedeutend verringert werden kann.

Fig. 66.



Bei dem in Fig. 66 skizzirten Gleichstrom-Transformator haben Jehl und Rupp die primären Spulen 1 bis 8 und die secundären Spulen I bis VIII auf dem Ringe N S angeordnet. Innerhalb desselben befindet sich der doppelt T-förmige Elektromagnet n s, der auf derselben Axe B aufsitzt, welche den Vertheilungs-Commutator trägt. Da die Ströme in den aufeinanderfolgenden Spulen der Reihe nach auftreten, müssen auch die Pole N S im Ringe wandern und dadurch den vom Primärstrome aus gespeisten Elektromagnet n s in Umdrehung versetzen. Der

gemeinsamen Axe B wegen muß sich mit dem Elektromagnet auch der Vertheilungs-Commutator drehen, und somit entfällt bei dieser Anordnung der selbstständige Elektromotor.

IV.

Lampen für elektrisches Licht.

Zur Erzeugung des elektrischen Lichtes sind gegenwärtig zwei Methoden in Anwendung. Die eine bedient sich des Voltabogens, die andere benützt die Eigenschaft des elektrischen Stromes, Körper von hohem Leitungswiderstande (in der Regel Kohle) zur heftigen Weißgluth zu erhitzen. Das Licht Geißler'scher Röhren, das Phosphorescenzlicht und der Inductionsfunke haben es zu keiner irgendwie nennenswerthen praktischen Anwendung gebracht. Jedoch entsteht das elektrische Licht jederzeit, auf welche Art es auch immer erzeugt werden möge, dadurch, daß elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird. Nach den Gesetzen, welche diesbezüglich gelten, hat man bei Anwendung der Elektricität zur Lichterzeugung die Widerstände im Schließungsbogen derart zu vertheilen, daß der Strom in den Lampen auf den größten Widerstand stößt, in den übrigen Theilen des Stromkreises aber möglichst geringe Widerstände zu überwinden hat. Dann wird auch in den Lampen der elektrische Strom möglichst vollständig in Wärme, beziehungsweise Licht umgesetzt und werden Stromverluste durch Erwärmung der Leitungsdrähte u. s. w. vermieden.

Die theoretischen Principien sind in folgende praktische Formen gebracht worden: 1. Man setzt an jener Stelle des Stromkreises, an welcher man Licht erzeugen will, einen Leiter von großem Leitungswiderstande ein, der von dem durchfließenden Strome derart erhitzt wird, daß er zu heller Weißgluth gelangt. 2. Man unterbricht an der gewünschten Stelle den Stromkreis und bringt die beiden Enden desselben, von welchen eines immer ein Kohlenstäbchen ist, nur zu loser Berührung; dieser Umstand und der geringe Querschnitt des Kohlenstäbchens schafft dem Stromdurchgange an der Berührungsstelle beider Enden gleichfalls ein bedeutendes Hinderniß. Ist der Kohlenstab mit dem positiven Pole der Elektricitätsquelle in Verbindung, so kommt er an der Berührungsstelle mit dem zweiten Ende des Stromkreises in lebhaftes Glühen und verbrennt unter starker Lichtentwicklung. 3. Man bedient sich zur Lichterzeugung des Voltabogens.

Zu ausgedehnter industrieller Verwendung sind nur die unter 1. und 3. bezeichneten Formen gelangt, und daher sollen auch nur diese nachstehend unter den zusammenfassenden Titeln: »Glühlampen und Bogenlampen« besprochen werden.

1. Glühlampen.

So zahlreich die Arten der Glühlampen, welche heute in praktischer Anwendung stehen, sind, so wenig weichen dieselben in ihren wesentlichen Bestandtheilen von einander ab. Bei allen wird ein Kohlenfaden oder -Bügel in einem luftentleerten Glasgefäße zum Glühen und Leuchten gebracht. Gehen schon die Herstellungsarten der Kohlenfäden nicht allzuweit auseinander, so unterscheiden sich die Verfahren,

welche zur Erzeugung der luftleeren Glasgefäße in Anwendung stehen, noch viel weniger von einander. Allgemeine

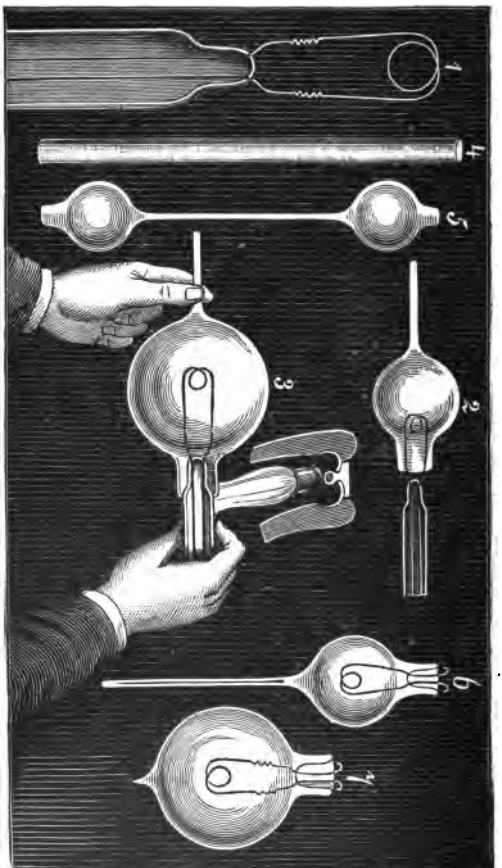


Fig. 67.

Angaben hierüber werden daher genügen; charakteristische Angaben über einzelne der gebräuchlichsten Lampen mögen sich hieran schließen.

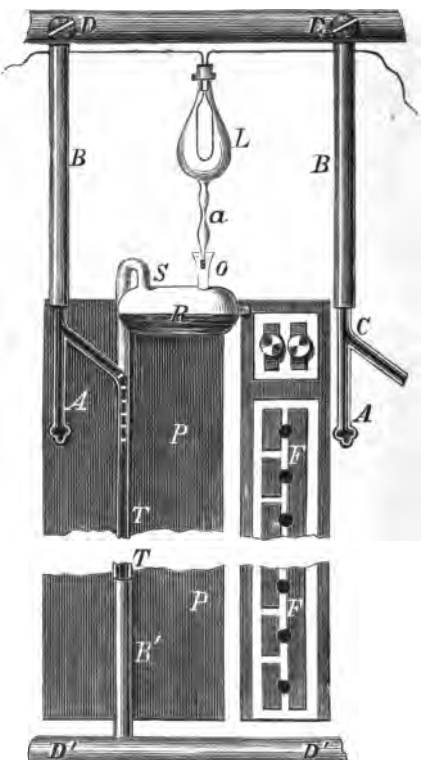
Die Erzeugung der Glühlampen. Beginnen wir mit der Herstellung des Glühkörpers; als solcher kommt gegenwärtig ausschließlich Kohle und fast ausschließlich vegetabilische Kohle zur Verwendung. So benützen z. B. Edison Bambusfasern, Swan Baumwollfasern, Lane-Fox Hanffasern, Siemens ebenfalls Baumwollfasern u. s. w. Die Umwandlung dieser Substanzen in Kohlenfäden erfolgt stets in der Weise, daß die vorher präparirte oder unpräparirte Faser in jene Form gebracht wird, welche der Kohlenfaden haben soll und daß man sie hierauf, in Kohlen- oder Graphitpulver gebettet, bei vollkommenem Luftabschluß längere Zeit hindurch zu lebhafter Gluth erhitzt. Die so erhaltenen Kohlenfäden werden dann entweder unmittelbar in das Glasgefäß eingesetzt oder zuvor noch einem Carbonisirungsprocesse unterworfen.

In welcher Weise das Glasgefäß hergestellt und der Kohlenbügel in dasselbe eingesetzt wird, ist aus Fig. 67 zu ersehen. Die Platindrähte, welche den Kohlenfaden tragen, werden zunächst in einem Glasstöpsel eingeschmolzen (1), dann in die Lampenkugel eingesetzt (2) und mit dem Halse derselben verschmolzen (3). Zur Herstellung dieses Glaskörpers zieht man cylindrische Röhren (4) in der Mitte zu einem dünnen Rohre aus und bläst dann an den dicken Enden desselben Kugeln an (5), die hierauf durch Abbrechen der dünnen Glasröhre von einander getrennt werden. Nach dem Einsetzen des Kohlenbügels ist die Lampe zum Auspumpen bereit (6).

Zum Auspumpen der Luft stehen ausschließlich Quecksilber-Luftpumpen in Verwendung, weil nur mit Hilfe dieser die Glasgefäße bis zu dem erforderlichen Grade luftleer gemacht werden können. Es gibt deren zweierlei Art: Die eine beruht auf der Verwendung der Toricelli-

schen Leere (Barometerleere) und ist durch die Geißler'sche Pumpe repräsentirt, die andere beruht auf der Erscheinung,

Fig. 68.



daß ein ausfließender Flüssigkeitsstrahl die Luft seitlich an sich zieht und in Form von Bläschen mit sich reißt; hierauf hat Sprengel seine Luftpumpe gegründet.

Sprengel'sche Luftpumpen stehen z. B. bei der Erzeugung von Edison-Lampen in der Fabrik zu Ivry in Verwendung. Die Anordnung ist derart getroffen, das stets gleichzeitig 450 Lampen ausgepumpt werden können. Die Pumpen sind in einem großen Saale der Reihe nach an verticalen Holzwänden befestigt, wie dies Fig. 68 für eine derselben zeigt. Oberhalb und unterhalb der Holzwände laufen horizontale eiserne Röhren D D und D' D', welche das Quecksilber den Luftpumpen zuführen, beziehungsweise von ihnen ableiten. Diese beiden Röhren münden in je ein mit Quecksilber gefülltes Reservoir; das obere Reservoir steht mit dem unteren durch ein großes schief liegendes Rohr in Verbindung, in welchem eine Archimedes-Schraube durch einen Motor in Bewegung gesetzt wird. Die Schraube sorgt auf diese Art dafür, daß das Quecksilber aus dem unteren Reservoir continuirlich in das obere übergeführt wird.

Vom oberen Reservoir aus vertheilt sich das Quecksilber durch das horizontale Eisenrohr D D auf die damit verbundenen verticalen Kautschukrohre B der einzelnen Pumpen. Das Quecksilber fällt durch die Röhren A B hinab, fließt durch die geneigte Röhre bei C in das verticale Rohr T. Wo die schiefe Röhre in dieses einmündet, trifft das Quecksilber mit einer Luftsäule zusammen und reißt in seinem Falle durch das beiläufig 80 cm lange Rohr T B' Luft in Blasenform mit. So wird der Raum des Rohres, welcher sich oberhalb der Einmündungsstelle der schiefen Röhre befindet, nach und nach der ihn erfüllenden Luft beraubt oder ausgepumpt. Das Rohr T setzt sich nach oben in die umgebogene Röhre S fort, welche in das Reservoir R ausmündet. Dieses enthält concentrirte Schwefelsäure, um Feuchtigkeit zu absorbiren und ist bei O mit einem Ansatze versehen, in welchem die Lampe L durch das zum

Aussaugen der Luft bestimmte Glasröhrchen mittelst Kautschukpfropfens luftdicht befestigt wird. Es ist selbstverständlich, daß durch diese Verbindung der Lampe mit dem Fallrohre T auch aus der Lampe die Luft ausgepumpt werden muß. Der Kohlenbügel der Lampe ist mit einem Stöpselumschalter und einem Rheostaten F in den Stromkreis einer Elektricitätsquelle eingeschaltet.

Zu Beginn des Auspumpens sind sämmtliche Widerstände F eingeschaltet und geht daher ein verhältnißmäßig schwacher Strom durch den Kohlenbügel. Je weiter aber die Verdünnung fortschreitet, desto mehr Widerstände schaltet man aus und läßt schließlich bei Ausschaltung sämmtlicher Widerstände den Strom in voller Stärke durchgehen, wenn die Verdünnung der Luft die gewünschte Höhe erreicht hat. Leuchtet dann die Lampe mit der geforderten Intensität, so unterbricht man das Auspumpen, indem man den Quecksilberzufluß durch Schließen des Hahnes D absperrt.

Um die Lampe zu vollenden, hat man sie nun noch vollkommen zu verschließen, was durch Abschmelzen des Röhrchens bei a mit Hilfe einer Stichflamme bewirkt wird. Die Lampe ist dann bis auf die Montirung mit den nothwendigen Ansatztheilen zum Gebrauche fertig. In welcher Art die Montirung ausgeführt wird, sowie Abweichungen von der soeben allgemein skizzirten Herstellungsweise der Glühlampen, mögen an einigen hervorragenden Beispielen nachstehend gezeigt werden.

Th. A. Edison stellt, wie bereits erwähnt, den Kohlenbügel seiner Lampe (Fig. 69) aus Bambusfaser her. Durch Maschinen wird das Bambus entschält, in Fasern getheilt und diesen die entsprechende Form mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit gegeben. Die Bambusbügel werden dann in Eisenformen von entsprechender Gestalt sorgfältig

eingeschlossen und zu Tausenden in einen Ofen eingesetzt; die Verkohlung ist rasch beendet, und wenn man die Formen

Fig. 69.

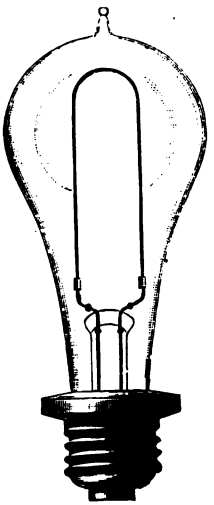


Fig. 70.

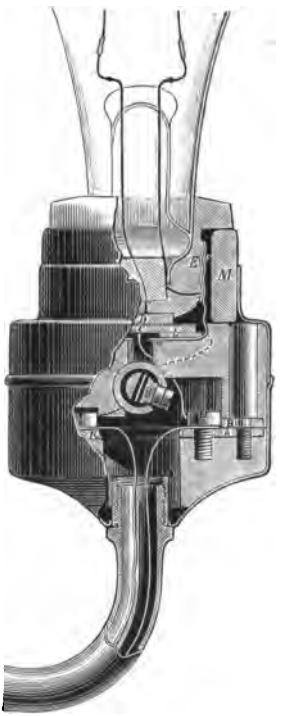
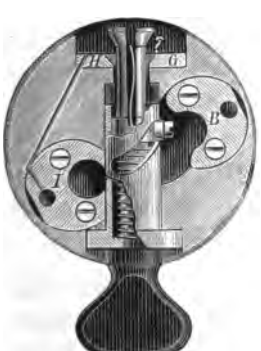


Fig. 71.



nach ihrem Erkalten öffnet, findet man an Stelle der Bambusfasern Fäden vegetabilischer Kohle von hinreichender Feinheit, Härte und Festigkeit. Die Kohlenbügel werden hierauf an Platindrähten befestigt und diese sorgfältig in Glas-

gefäße von Birnenform eingeschmolzen. Während des Luftauspumpens aus den Glasgefäßen wird durch die Kohlenbügel ein elektrischer Strom gesandt, der den Zweck hat, durch Erhitzen der Kohlen die von diesem absorbirten Gase auszutreiben, was zur Festigkeit der Kohlenfäden unbedingt erforderlich ist.

Die Figuren 70 und 71 veranschaulichen Fassung und Sockel der Lampe in Längs- und Querschnitten, erstere mit Messinggarnituren ausgestattet, von denen F das Muttergewinde der an der Lampe angebrachten Schraube, C den Boden bildet. Beide sind mit Leitungsdrähten versehen und durch eine Scheibe L aus einer isolirenden Masse getrennt, deren Aufgabe, wie die des Holzringes M, darin besteht, die benachbarten Metallflächen zu isoliren.

Mit dem Einschrauben der Lampe in die Fassung entsteht zwischen Schraubengewinde E und Mutter F, sowie den Platten C und D gleichzeitiger Contact. Innerhalb der zweitheiligen, mit Messingblech bekleideten Holzfassung wird die Leitung durch Berührung zweier aufeinander geschraubter Plattenpaare B, I und A, K hergestellt. An erstere sind die von den Garnituren C und F ausgehenden Drähte gelöthet, bei letzteren werden die Leitungsdrähte mit Schrauben gegen die Platten A und K gepreßt. Die Befestigung der Fassungen an Wandarmen und Kronleuchtern, in deren Röhren man die Leitungsdrähte legt, geschieht, wie aus der Figur 70 ersichtlich, durch Einschrauben des mit einem Gasgewinde versehenen Rohrendes.

Die Figuren 70 und 71 stellen zugleich die sinnreiche Vorrichtung zum Anzünden und Auslöschen der Lampen durch die bei Gasbeleuchtungs-Gegenständen übliche Hahndrehung dar, zu welchem Zwecke der von der Garnitur F

ausgehende Draht nicht direct zur Platte I geführt, sondern in der Mitte unterbrochen wird, so daß eine Hälfte von F mit G, die andere H mit I communicirt. Da die beiden Plattenhälften G und H von einander isolirt sind, muß beim Anzünden der Lampe ein Contact zwischen ihnen hergestellt werden, der dem Strome den Uebergang gestatte und durch dessen Unterbrechung das Licht wieder erlischt. Um dies zu ermöglichen, sind die Löcher der Platten G und H innen versenkt, so daß der in der Axe dieser Höhlung bewegliche, geschlitzte und in einen Konus endigende Zapfen A in der trichterförmigen Oeffnung sich genau anschmiegen kann, in welchem Bestreben er durch die in dem Schlitze angebrachte Druckfeder zur erhöhten Sicherheit des Contactes noch unterstützt wird. Um durch die Drehung des Hahnes nach beiden Richtungen eine axiale Bewegung zu erhalten, ist an dem Zapfen ein Zahn befestigt, dessen Kopf in einer schraubenartigen Coulisse geführt wird. Es ist aus der Zeichnung leicht ersichtlich, daß durch die Drehung des Hahnes in dem einen oder anderen Sinne der Konus in die Platten H und G hineingezogen wird und den Strom schließt oder aus demselben heraustritt und die Leitung unterbricht. Wenn der Konus den Contact zwischen den Platten G und H hergestellt hat, tritt der Strom (Fig. 70) durch den Zuleitungsdraht in die Scheibe A, von dieser durch B zur Bodenplatte C der Fassung, hierauf durch den Contact mit der Scheibe D in die Lampe, in welcher er nacheinander den von letzterer ausgehenden Platindraht und die Kohlenfaser durchfließt, um durch den anderen Platindraht zur Garnitur E zurückzukehren, deren Schraubengewinde ihm den Wiedereintritt in die Fassung durch die Mutter gestattet. Mittelst des an letztere gelötheten Drahtes gelangt der Strom nunmehr zur Scheibenhälfte G und über

den Konus zur Hälfte H, die er durch den Draht H I und die Platte K mittelst des Ableitungsdrahtes verläßt.

Der in Fig. 72 dargestellte Wandarm hat bei A, B und C Gelenke; Fig. 73 zeigt die innere Einrichtung

Fig. 72.

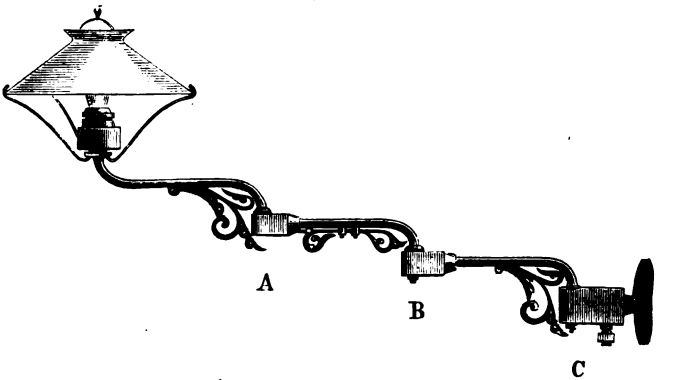
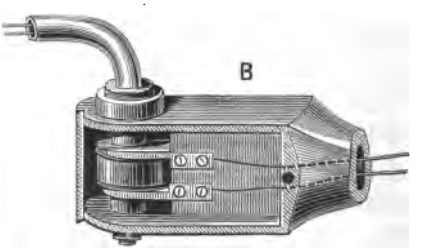


Fig. 73.



der Gelenke A und B. Die Leitungsdrähte dringen auf der rechten Seite in die Kammer ein und sind an zwei von einander isolirten Metallstücken befestigt; diese schleifen auf zwei Metallscheiben, die gleichfalls von einander isolirt, am verticalen Theile des Knierohres aufgesetzt sind und sich

mit diesem drehen. Jede der Scheiben des Cylinders ist mit einem Leitungsdrahte verbunden, der dann in der Röhre fortlauft. Bei C befindet sich überdies noch ein Hahn von der bereits beschriebenen Construction.

Fig. 74.

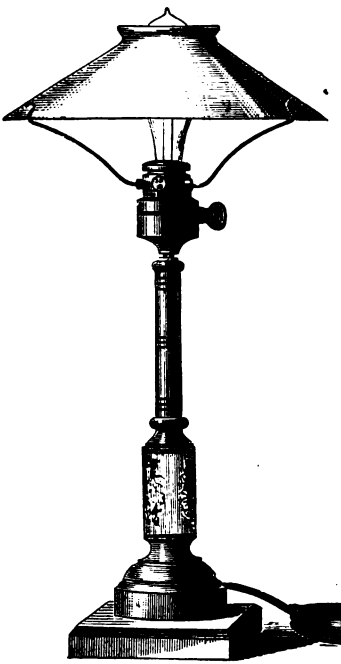


Fig. 75.

Ein Stück des Drahtes in der Hahnkapsel ist aus Blei; es hat dies den Zweck, bei etwaigem Anwachsen des Stromes in der Leitung über jene Stärke, welche für die Lampe geeignet ist, diese gegen Beschädigung (Zerstörung des Kohlenbügels) zu schützen. Der Durchmesser des Bleidrahtes

ist nämlich so bemessen, daß der Draht sich bis zum Schmelzen erwärmt und auf diese Weise den Strom eben dann unterbricht, wenn letzterer eine gefährliche Stärke anzunehmen droht.

Edison ging noch weiter; er construirte auch einen Regulator in der Lampe selbst, welcher erlaubt, die Lichtstärke ganz nach Belieben herzustellen. Fig. 74 zeigt eine transportable Lampe und Fig. 75 den Regulator. Dieser ist eine Art Kohlenrheostat, zusammengesetzt aus Kohlenstiften von verschiedenem Durchmesser, also, da die Länge und die Substanz dieselbe ist, von verschiedenem Widerstande. Durch Einschalten des einen oder anderen Stiftes in den Stromkreis erhält man die gewünschte Intensität. Um zu große Erwärmung zu verhindern, ist der Cylinder, welcher den Apparat einschließt, mit Oeffnungen für die Luftcirculation versehen. Die Regulirung wird durch Drehen einer Scheibe (unterhalb der Fig. 75 separat gezeichnet) bewirkt, wodurch der Contact mit dem einen oder anderen Kohlenstabe hergestellt wird. Ein Index an der Scheibe und eine Eintheilung am unteren Rande des Cylinders zeigen den Grad der Intensität der Lampe für die Einschaltung jedes Kohlenstabes an.

Bei der **Swan-Lampe** (Fig. 76) sind die als Träger für die Kohle dienenden Platindrähte von einander isolirt in ein mit dem unteren Ende des Glasgefäßes verschmolzenes Glassäulchen mit großer Sorgfalt eingeschmolzen und endigen nach außen in zwei Platinschlingen. Der Anschlußtheil zum Befestigen der Lampe an dem Beleuchtungskörper besteht aus einem Stück Hartgummi, welches unten ein Gasgewinde trägt, so daß es in jeden Gasarm, nach Herausnehmen des Brenners, eingeschraubt werden kann. In der oberen Fläche dieses Ansatzstückes sind zwei Platinhäkchen angebracht, die mit je einer der seitlichen Klemmschrauben, in welche die

stromzuleitenden Drähte eingeklemmt werden, in leitender Verbindung stehen. Beim Einhängen der Lampe in die Häkchen des Ansatzstückes sorgt eine Spiralfeder für den guten Contact mit den Platinschlingen.

Fig. 76.

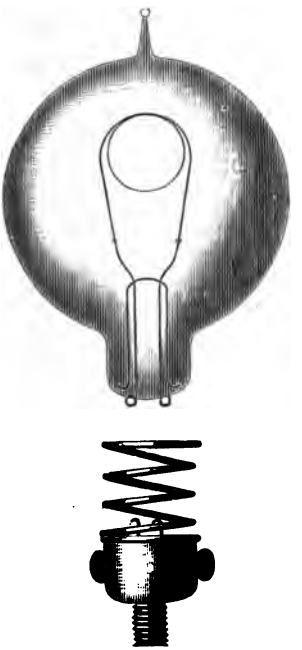
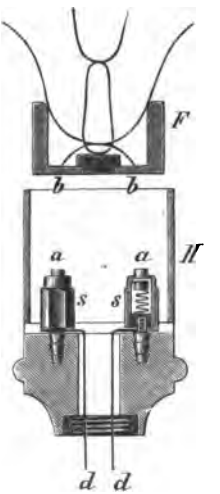


Fig. 77.



Der beiläufig 10 cm lange, in der Form einer einfachen Schlinge gewundene Kohlenbügel wird aus Baumwollfasern bereitet. Diese werden in Schwefelsäure (2 Theile auf 1 Theil Wasser) getaucht und einige Zeit darin hängen gelassen. Dadurch erleiden sie jene Veränderung, die auch das Papier bei gleicher Behandlung erfährt, welches in einem solchen Bade bekanntlich in künstliches Pergament verwandelt wird. Der Faden wird also zäh und consistent. Dann setzt man ihn

in der Form, welche der Kohlenbügel später haben soll, in einen Schmelztiegel, füllt diesen ganz mit feinem Kohlenstaub und erhitzt das Ganze bei hermetischem Verschlusse des Tiegels längere Zeit bis zur Weißgluth. Die Verbindung der Kohlenenden mit den Platindrähten wird bewerkstelligt, indem man den Kohlenbügel mit den Drähten zusammenlegt und an den Berührungsstellen durch Ueberwinden mit Baumwollfäden befestigt. Letztere machen dann den ganzen früher angegebenen Proceß der Carbonisirung mit.

Nach einem neueren Modelle bewirkt Swan die Verbindung der Platindrähte mit den Leitungsdrähten in der durch die Fig. 77 dargestellten Weise. Die Lampe ist mit einer einfachen Fassung F versehen, in deren Boden die beiden mit den Platindrähten verbundenen Metallblättchen b b isolirt eingesetzt sind. Führt man die Lampe mit ihrer Fassung in die Hülse H ein und setzt sie in dieser durch einen Bajonnetverschluß fest, so stemmen sich die beiden Metallpistons a a gegen die Metallblättchen b b, da sie durch Spiralfedern in den hohlen Schraubenköpfen s s nach oben gedrückt werden und stellen dadurch die Verbindung der Leitungsdrähte d d mit den Platindrähten her.

H. Maxim hat dem in der Glasbirne A A (Fig. 78) eingeschlossenen Kohlenbügel die Form eines abgerundeten M gegeben (jedoch auch die Form einer einfachen Schleife nicht ausgeschlossen). Besonders bemerkenswerth bei dieser Lampe sind das Material der Kohle, die Befestigungsweise derselben auf den Platindrähten und die Einschmelzung der letzteren in das Glas.

Der Kohlenbügel wird aus Bristolpapier (womit z. B. Edison kein brauchbares Resultat erzielte) hergestellt, indem man aus diesem zunächst ein Mförmiges Stück ausschneidet, welches etwas größer ist, als der Bügel werden soll. Nach-

dem dieser schwach verkohlt ist, setzt man ihn, an seine Platindrähte befestigt, in das Glasgefäß ein und macht dieses luftleer. Hierauf läßt man Gasolindämpfe eintreten

Fig. 78.

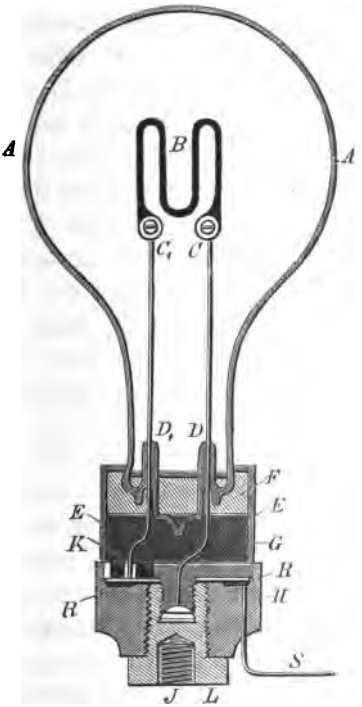


Fig. 79.

und verdünnt diese bis zu einem Drucke von nur mehr 30 mm. Nun bringt man den halbverkohlten Bügel durch den elektrischen Strom zum Glühen und bewirkt dadurch eine Zerlegung des Gasolins. Auf diese Art wird der Kohlenstoff äußerst fein vertheilt in den Poren des verkohlten Papiers abgeschieden und verwandelt dieses in einen consistenten, gleichförmigen Kohlenbügel. Durch dieses Verfahren, welches man Carbonisiren

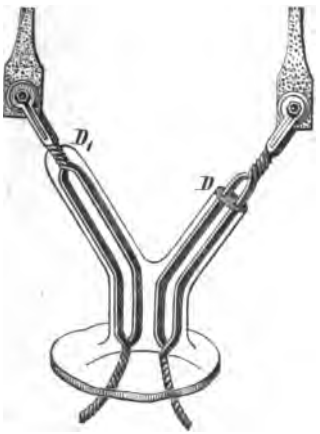
nennt, wird aber nur dann der gewünschte Erfolg (feine, gleichmäßige Vertheilung der aus dem Gasolin auf dem Papier abgeschiedenen Kohle) erreicht, wenn das Gasolin bis zu dem angegebenen Grade verdünnt ist und der Kohlenbügel lebhaft glüht.

Zur Befestigung des Bügels B auf den Platindrähten C D und C_1 D_1 sind letztere an ihren oberen, ersterer an seinen unteren Enden plattenförmig verbreitet (Fig. 78 u. 79). An den Draht ist ein durchbohrtes Plättchen b mit Gold angelöthet, darauf kommt ein Scheibchen s aus weicher Kohle, dann der Kohlenbügel B, darauf wieder ein Kohlenscheibchen s_1 und zum Abschluß ein durchbohrtes Platinplättchen b_1. Alle diese Theile werden durch die Schraube o t zusammengehalten. Die weichen Kohlenscheibchen s s_1 haben den Zweck, die Herstellung einer festen und gutleitenden Verbindung zwischen den Metalldrähten und dem harten spröden Kohlenbügel zu ermöglichen, ohne diesen zu beschädigen.

Die Glasröhrchen D D_1, in welche die Platindrähte eingeschmolzen sind, besitzen eine schwach konische Form, so daß zwischen ihren Innenwänden und den Drähten haarfeine Zwischenräume bleiben. In diese zieht sich der Gyps, der zum Einkitten der Glasbirne in die Metallfassung E verwendet wird, hinein und dient hierdurch zur Vervollkommnung des Lampenverschlusses. Man hat früher lange mit der undichten Einschmelzung der Drähte in das Glas zu kämpfen gehabt, da infolge der ungleichen Ausdehnung von Glas und Platin (bei Temperaturänderungen) im Glase häufig feine Risse entstanden sind, durch welche dann Luft einströmen konnte. Die Differenz der Volumsveränderungen von Draht und Glas ist weniger schädlich, wenn der eingeschmolzene Draht sehr dünn ist, weshalb Maxim für die Einschmelzung der Drähte auch die in Fig. 80 dargestellte Methode zur An-

wendung bringt. Wie aus dieser Figur zu ersehen, sind in die Glasröhrchen D D_1 nicht Drähte von der vollen, für die Stromzuleitung erforderlichen Stärke eingeschmolzen, sondern bedeutend schwächere, aber dafür in größerer Anzahl — in der Figur 4 für jeden Draht; hierbei ist jede dieser vier Drahtfasern getrennt von den übrigen in das Glas eingeschmolzen. Die Vereinigung derselben innerhalb der Birne

Fig. 80.



zu je einer den Kohlenbügel aufnehmenden Pincette und außerhalb zu je einer Zuleitung erfolgt erst beim Austritte der Drahtfasern aus der Einschmelzstelle.

Auch Lane-Fox verwendet auf einen sicheren Verschluß der Glasbirne an den Einschmelzstellen der Drähte besondere Sorgfalt. Zur Herstellung der Kohlenfasern bedient sich Lane-Fox eines entsprechend geformten Stückes Coaks, welches an seiner unteren Kante eine Messerklinge erhält. Um dieses Stück Coaks wird Hanffaden gewunden

und sodann das Ganze in einen Verkohlungsofen gebracht. Beim Verkohlen ziehen sich die einzelnen Windungen des Hanffadens zusammen und reißen unter der Wirkung der Messerschneide alle an derselben Stelle, so daß man lauter gleiche Fadenstücke bekommt. Das Carbonisiren der Kohlenbügel wird durch Einbringen derselben in Benzol- oder andere geeignete Dämpfe bewirkt, indem gleichzeitig die Kohle durch den elektrischen Strom zum Weißglühen erhitzt wird.

Während Edison Werth auf die Faserstructur der Kohle legt und daher auch seine Bambusfaser beibehält, strebte hingegen Maxim darnach, eine möglichst structurlose homogene Kohle zu erhalten. Aus diesem Grunde benützte er auch Bristolpapier und unterwarf die Kohle desselben überdies noch einem Carbonisirungsprocesse. Dieses Streben fand durch **Weston**, der bis zum Jahre 1881, als Maxim sich der Erzeugung von Handfeuerwaffen zuwandte, mit diesem gemeinschaftlich gearbeitet hatte, noch eine weitere Förderung, welche aus nachstehend beschriebenen Verfahren zu ersehen ist: Weston verwandelt nämlich die Cellulose der Baumwoll- oder Leinenfaser durch Behandlung mit Salpeter- und Schwefelsäure in Nitrocellulose (Schießbaumwolle) und dann durch Auflösen der letzteren in Aether und Alkohol in Collodium. Aus diesem werden dann 0·1 mm dicke Platten gebildet und diese, um sie ihrer vollständigen Verbrennbarkeit zu berauben, mit einer reducirenden Verbindung (Ammonium-Hydrosulfit) behandelt. Das so erhaltene Tamidin, wie es Weston nennt, ist ein vollkommen structurloser Körper von bernsteinartiger Farbe, der große Dehnbarkeit und Zähigkeit besitzt. Die darauf folgenden Processe bestehen im Auswalzen des Tamidins, Ausstanzen der Bügel, deren Form aus Fig. 81 zu ersehen ist, und

Verkohlen bei sehr hoher Temperatur. Der so erhaltene Kohlenbügel ist glatt, glänzend schwarz und elastisch wie eine Stahlfeder.

Von den bisher beschriebenen wesentlich unterschieden ist die Lampe von **Cruto**, welche bei der Ausstellung in München das erstemal zu sehen war. Cruto erzeugt den

Fig. 81.

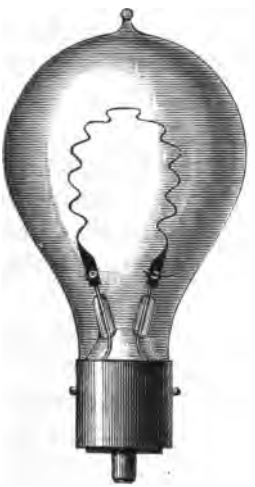
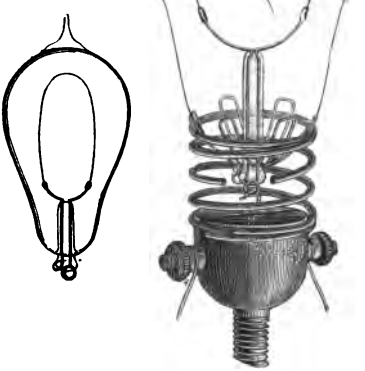


Fig. 82.



Kohlenbügel in der Art, daß er einen feinen Platindraht durch den elektrischen Strom in der Atmosphäre eines Kohlenwasserstoffes zur Rothgluth erhitzt. Hierdurch wird der Kohlenwasserstoff zersetzt und die Kohle scheidet sich auf dem Platindrahte aus; man verflüchtigt hierauf das Platin durch Steigerung der Stromintensität und erhält auf diese Weise einen hohlen Kohlenfaden. Bei dem ursprünglichen Modelle wurde der sehr feine Platindraht in Gestalt einer Π-förmig gebogenen Spirale benützt, während bei dem neuen

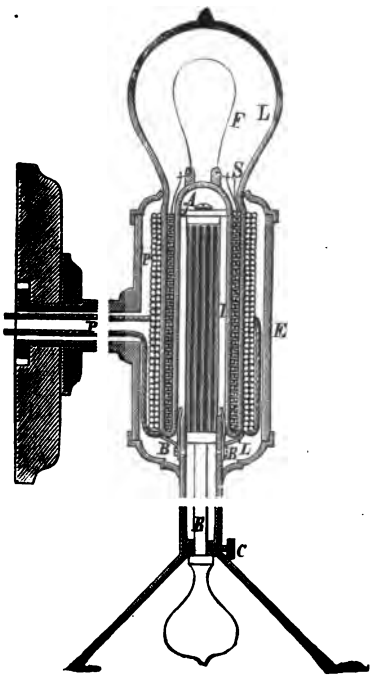
Modelle die einfache Hufeisenform zur Verwendung kommt. Die Montirung der Lampe und die Art des Anschlusses an die Stromleitung ist aus Fig. 82 leicht zu ersehen. Die beiden aus der Lampe kommenden Drähte sind zu Ringen umgebogen, von welchen einer mit einer Reihe von Drahtschlingen in Verbindung steht, die den Glaskörper der Lampe an der Basis umfassen, während der andere in ein Häkchen des Anschlußtheiles wie bei der Swan'schen Lampe eingehängt wird. Es werden Lampen zu 4, 8 und 16 Kerzen mit einem Kohlenbügel und Lampen mit zwei Kohlenbügeln, welche man auf Quantität oder auf Spannung schalten kann, verfertigt.

Diehl wurde bei der Construction seiner Lampe von der Absicht geleitet, undichte Stellen an den Einschmelzungsstellen der Drähte in der Glaswand ganz zu umgehen, was er dadurch erreichte, daß er überhaupt gar keine Drähte durch die Glaswand hindurchführt.

Die Lampe besteht aus einer Glasbirne B (Fig. 83), welche nach unten durch einen Hohlcylinder verlängert ist. In diesem sind einige Lagen feinen Drahtes S aufgewunden, dessen Enden mit dem Kohlenbügel F in Verbindung stehen, also mit diesem einen in sich geschlossenen, den secundären Stromkreis der Lampe darstellen. Der primäre Stromkreis P dieses Inductionsapparates (denn einen solchen bildet die ganze Lampe) ist in der Fassung E der Lampe untergebracht. Da durch den primären Strom (in P) allein nur schwache Inductionsströme in S hervorgerufen würden, so ist in dem Hohlraume des Glascylinders noch ein Eisenkern I und zwar derart angeordnet, daß dieser gleichzeitig als Regulator für die Lichtstärke der Lampe dienen kann. Man hat zu diesem Behufe nur den Eisenkern mit Hilfe des Stabes R, der durch Anziehen der Schraube C arretirt werden kann,

mehr oder weniger weit in den Glascylinder hineinzuschieben, wodurch bekanntlich die Inductionswirkung verstärkt oder abgeschwächt wird. In der tiefsten Stellung des Eisenkernes

Fig. 83.



legt sich eine Metallscheibe A gegen die Contactfedern B B, welche von einander isolirt, aber mit dem primären Stromkreise verbunden sind, und stellt dadurch einen kurzen Schluß her, so daß also die Lampe ausgeschaltet erscheint, indem nunmehr der Strom von der einen Feder B durch die

Metallscheibe A zur zweiten Feder B und weiter durch die Leitung fließt.

2. Bogenlampen.

Die Lampen oder Regulatoren für das Bogenlicht haben, wie bereits in der Einleitung erwähnt, hauptsächlich den Zweck, die Entfernung der beiden Kohlen von einander constant, der angewandten Stromstärke entsprechend, zu erhalten und überdies verlangt man in bestimmten Fällen auch noch, daß der Lichtpunkt der Lampe die ganze Brenndauer über unverrückt bleibt. Sind mehrere Lampen in einem und demselben Stromkreise eingeschaltet, so dürfen sie sich gegenseitig in keiner Weise stören.

Sehen wir von den Regulatoren mit Uhrwerk, die keinerlei praktische Bedeutung erlangt haben, ab, so ergibt sich, daß das Verschieben der Kohlen bei fast allen Lampen eine der Schwerkraft übertragene Arbeit bildet. Dafür, daß diese Arbeit zu rechter Zeit geleistet wird, muß der elektrische Strom selbst sorgen, was ihm durch entsprechende Anwendung von Elektromagneten oder von Solenoiden ermöglicht wird. Nun strebt zwar das Solenoid allerdings, stets den Eisenkern in sich hineinzuziehen, aber die Kraft dieser Anziehung bleibt, selbst unter der Voraussetzung unveränderlicher Stromstärke im Solenoide, nicht immer dieselbe. Hat der Eisenstab einen constanten Querschnitt (z. B. eine cylindrische Gestalt), so ist die Kraft, mit welcher er in die Spirale hineingezogen wird, verschieden je nach der Lage des Eisenstabes zur Spirale. Die Kraft ist am stärksten, wenn ein Ende des Stabes mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, sie ist am schwächsten, wenn die Mitte des Stabes mit der Mitte der Spirale zusammenfällt. Nimmt nun aber der Eisenstab während der Zeit, als die Lampe brennt, diese verschiedenen Stellungen ein, so

muß er offenbar auch verschieden stark auf die Regulirung der Lampe einwirken, d. h. die Lampe wird nicht gleichförmig reguliren. Von den Methoden, welche zur Beseitigung dieses Uebelstandes angewandt wurden, mögen nachstehend einige Erwähnung finden.

Fig. 84.

Bei der Bogenlampe von **Jaspar** erscheint dieser Uebelstand dadurch beseitigt, daß die ungleichförmige Anziehung des Solenoides durch ein entsprechend wirkendes Gegengewicht ausgeglichen ist.

Die obere positive Kohle ist an dem Träger A (Fig. 84) angebracht und läßt sich durch Schrauben genau über der unteren Kohle befestigen. Der Träger A ist von den übrigen Theilen der Lampe vollständig isolirt und wird mit dem positiven Pole der Elektricitätsquelle verbunden. An seinem unteren Ende trägt er einen Ansatz, der an einer Führungsstange gleitet, um das Drehen des Kohlenhalters zu vermeiden. Von diesem Ansatze geht eine Schnur zum Umfange einer Scheibe, auf deren Axe noch eine zweite Scheibe, aber nur vom halben Durchmesser der ersten, sich befindet;

die Schnur an ihrem Umfange führt zum unteren Kohlenträger B. Auf diese Art muß die untere negative Kohle stets den halben Weg der oberen positiven Kohle zurücklegen. Als Gegengewicht zum Gewichte des Kohlenträgers A wirkt das Laufgewicht F; der Hebel, auf welchem das Laufgewicht sitzt, ist nämlich durch eine Schnur mit einer dritten Scheibe verbunden, die ebenfalls auf der Axe der beiden erstererwähnten Scheiben befestigt ist. Die Schraube K dient dazu, das Gewicht F auf seinem Hebel zu verschieben und dadurch seine Zugkraft zu vermehren oder zu vermindern, je nachdem es die angewandte Stromstärke erfordert.

Der negative untere Kohlenträger B ist aus Eisen und taucht in das Solenoid C. So lange kein Strom durch die Lampe geht, überwiegt das Gewicht des Trägers A und dieser sinkt herab; infolge seiner Verbindung durch die Schnurläufe muß gleichzeitig der Träger B gehoben werden und die beiden Kohlen berühren sich. Schaltet man jetzt die Lampe in einen Stromkreis, so wird der Träger B in das Solenoid hineingezogen, B sinkt also und A muß deshalb steigen: die Kohlen gehen auseinander und die Lampe beginnt zu brennen. Damit die Bewegung nicht zu rasch erfolgt, ist an dem Träger B eine Stange L befestigt, welche unten einen Kolben trägt; dieser bewegt sich mit geringem Spielraume in dem mit Quecksilber gefüllten Cylinder D. Da auf diese Weise das Quecksilber nur durch den engen ringförmigen Raum zwischen Kolben und Cylinderwand passiren kann, wird auch die Stange L und somit der Träger B zu einem langsamen, gleichförmigen Gange gezwungen.

In dem Maße, als die Kohlen verzehrt werden, wächst auch die Länge des Voltabogens, die Stromstärke nimmt ab und das Solenoid verliert an Kraft. Jetzt kann das Gewicht der Stange A wieder die Anziehungskraft des

Solenoides überwinden, weshalb die obere Kohle sinken und die untere Kohle steigen wird, d. h. also, die Kohlen werden ihrem Abbrennen entsprechend nachgeschoben. Nun ist, wie bereits erwähnt wurde, die Anziehungskraft einer Spirale auf einen Eisenstab von gleichem Querschnitte verschieden je nach der Stellung des Eisenstabes zur Spirale. Beginnt die Lampe mit frisch eingesetzten Kohlen zu brennen, so befindet sich der Kohlenträger B in seiner tiefsten Stellung; sind die Kohlen nahezu abgebrannt (welchen Moment die Fig. 84 zeigt), so ist er in seiner höchsten Stellung angelangt. In diesem Stadium wird deshalb die Einwirkung des Solenoides auf den eisernen Kohlenträger eine viel kräftigere sein, als zum Beginne des Brennens der Lampe. Daraus würde aber zu Ende der Brenndauer ein viel längerer Voltabogen resultiren als zu Beginn derselben. Diesen Uebelstand vermeidet Jaspar auf ebenso einfache als sinnreiche Weise. Die Scheibe, welche den Schnurlauf aufnimmt, trägt nämlich ein Gewicht E, welches, wie die Zeichnung zeigt, für das Ende der Brennzeit auf der linken Seite der Drehaxe sich befindet. Es wirkt also mit seinem vollen Gewichte der Anziehung des Solenoides entgegen und unterstützt die Wirkung des Gewichtes von A. Am Beginne der Brennzeit steht die Scheibe so, daß sich das Gewicht E auf der rechten Seite von der Drehaxe befindet, also mit seiner ganzen Schwere im Sinne der Anziehung des Solenoides wirkt. Im ersteren Falle ist also die Anziehung des Solenoides am größten, aber auch die Gegenwirkung des Gewichtes E am stärksten, und im letzteren Falle ist die Anziehung des Solenoides am schwächsten, aber dafür wird sie auch durch das Gewicht E unterstützt.

Während des Brennens nimmt die Anziehung des Solenoides stetig zu, die Unterstützung dieser Wirkung durch

das Gewicht aber stetig ab, denn mit dem Abbrennen der Kohlen dreht sich auch die Scheibe und das Gewicht wird gehoben; damit ist aber eine stetige Abnahme der wirksamen Kraftcomponente von E verbunden. Dies geht so lange fort, bis E senkrecht über seiner Drehungsaxe angelangt ist. Hier hört seine Gegenwirkung auf. Brennt die Lampe länger fort, so gelangt das Gewicht E auf die linke Seite und wirkt nun der inzwischen weiter gewachsenen Anziehungskraft des Solenoides entgegen. Im selben Maße, als letztere sich vermehrt, wächst auch die Gegenwirkung des Gewichtes.

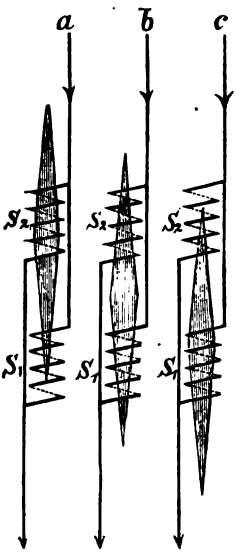
Auf diese Art erzielt also Jaspar trotz der Eisenstange von unveränderlichem Querschnitte doch eine stets gleich bleibende Bewegung im Kohlennachschube. Das Gewicht E ist überdies noch in radialer Richtung verstellbar, so daß dadurch und durch Verstellung des Gewichtes F mittelst der Schraube K dieselbe Lampe für verschiedene Stromstärken Verwendung finden kann.

Einige Organe von untergeordneter Bedeutung sind in der Zeichnung weggelassen, um die Deutlichkeit nicht zu beeinträchtigen. Der Regulator ist durch große Empfindlichkeit und Sicherheit des Betriebes gekennzeichnet.

Durch besondere Einfachheit zeichnet sich die Lampe von **Piette und Krizik** aus, die infolge dieses Umstandes und wegen ihres exacten Functionirens zu den besten Lampen zählt, die gegenwärtig in praktischer Verwendung stehen. Da bei dieser Lampe der Nachschub der Kohlen direct durch die Einwirkung zweier Solenoide auf einen Eisenkern bewirkt wird, muß ebenso wie bei den vorbeschriebenen Regulatoren dafür gesorgt werden, daß die Verschiedenheit der Stellung des Eisenkernes zu den Solenoiden für den regelmäßigen Gang der Regulirung unschädlich gemacht wird. Statt wie

Gaiffe das Solenoid konisch zu gestalten, gaben Piette und Křižik dem Eisenkerne die Gestalt eines Doppelkegels und beließen dafür den Solenoiden ihre cylindrische Gestalt. Bei dieser Anordnung nimmt der Querschnitt des Eisenstabes in demselben Maße ab oder zu, als die Wirkung der Solenoide zu- oder abnimmt. In allen drei Lagen a, b, c (Fig. 85) wird daher der Eisenkern sich in Ruhe befinden, wenn die Voraussetzung gemacht wird, daß die Spulen S_1 und S_2 elektrisch gleichwerthig sind. In a befindet sich z. B. das untere Ende des Stabes in der Mitte der Spirale S_1, also in der Stellung der größten Anziehungskraft; die Mitte des Stabes fällt mit der Mitte der Spirale S_2 zusammen, ist folglich in der Stellung der geringsten Anziehungskraft, die von dieser Spirale ausgeübt wird; es müßte daher der Stab sich abwärts bewegen, wenn nicht der Querschnitt desselben in der Spule S_2 am größten und in der Spule S_1 am kleinsten wäre. Dieser Umstand gleicht aber die verschiedenen Anziehungskräfte der Spiralen aus, und der Stab bleibt in Ruhe. In c haben beide Spiralen ihre Rollen vertauscht, und in b befinden sich beide Spulen in derselben Stellung zum Stabe. Der Stab ist somit in allen drei Lagen im Gleichgewichte.

Fig. 85.



Läßt man nun die Voraussetzung, daß durch beide Spulen ein gleich starker Strom geht, fallen, so kann sich der Stab nicht mehr im Gleichgewichte befinden, sondern

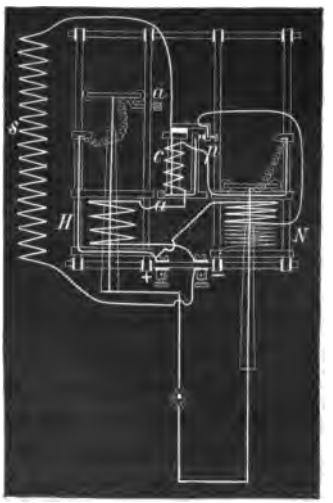
muß von jener Spule stärker angezogen werden, durch welche der kräftigere Strom circulirt. Die verschiedene Stromstärke in beiden Spulen wird erreicht, indem man die eine Spule aus starkem Drahte anfertigt und in den Hauptstromkreis schaltet, während die zweite Spule dünne Drähte erhält und in einen Nebenschluß zu liegen kommt. Hierbei wird die Stärke, mit welcher der konische Eisenkern von den Spulen angezogen wird, stets nur von der Stromstärke in diesen, nie aber von der gegenseitigen Stellung bestimmt sein. Die Richtung, nach welcher sich der Eisenkern bewegt, entspricht sonach der Differenzwirkung beider Spulen. Wir ersehen hieraus zugleich auch, daß der Regulator von Piette und Křižik eine sogenannte Differentiallampe ist und erinnern uns, daß die Anwendung des Differentialprincips bei den Regulatorlampen deshalb erfolgt, weil sie hierdurch auch zum Betriebe von Theilungslichtern geeignet werden. (Siehe Seite 14 und die Beschreibung der Siemens-Lampe.)

Die ersten Modelle, welche Křižik anfertigte, waren in der That unter Benützung eines doppeltkonischen Eisenkernes construirt. Zweckmäßigkeitsgründe veranlaßten aber später dazu, den Doppelkegel in zwei Hälften zu zerlegen und dementsprechend auf jede dieser Hälften eine Spirale wirken zu lassen; es bedarf jedoch wohl keiner weiteren Auseinandersetzung, daß hierdurch das soeben erläuterte Princip keine Aenderuug erlitten hat.

Das Modell, nach welchem gegenwärtig Schuckert in Nürnberg die Lampen erzeugt, ist in den Figuren 86 und 87 — Mechanismus und völlig montirte Lampe — in perspectivischen Ansichten dargestellt. Die Wirkungsweise der Lampe, und zwar für den Fall der Hintereinander- (oder Serien-) Schaltung ist aus dem Schema in Fig. 88

unschwer zu erkennen. Stehen die beiden Kohlen außer Berührung, so wird der elektrische Strom nach Einschaltung der Lampe folgenden Weg einschlagen müssen: Bei der mit + bezeichneten Klemme eintretend, kann er nur in die Spirale N gelangen, über den Platincontact bei c gehen und auf dem Wege über den Widerstand s und die mit —

Fig. 86. Fig. 87. Fig. 88.



bezeichnete Klemme die Lampe verlassen. Dadurch wird der Eisenkern in die Spule N hineingezogen, also die untere Kohle mit der oberen zur Berührung gebracht. Hierdurch erschließt sich aber für den Strom ein neuer Weg durch die Lampe, nämlich: von + in den oberen Kohlenträger, dann in den unteren Kohlenträger, von diesem in die Windungen des Elektromagnets c und durch die Spirale H zur Klemme —. Jetzt muß die Spirale H ihren Eisenkern an-

ziehen, dadurch die obere Kohle wieder außer Berührung mit der unteren Kohle bringen, und also den Voltabogen hervorrufen; gleichzeitig zieht nun aber auch der Elektromagnet c seinen Anker an, unterbricht dadurch den Contact bei p und somit auch den erst angegebenen Stromweg; der Strom nimmt also zum weitaus größten Theile auf dem letztangegebenen Wege seinen Verlauf. Nur ein äußerst geringer Bruchtheil wird die Widerstände, welche ihm die Windungen starken, namentlich aber die Windungen dünnen Drahtes auf der Spule N entgegensetzen, überwinden, durch das Lampengestelle auf den hiervon nicht isolirten unteren Kohlenträger gelangen und auf dem Wege über den Elektromagnet c und die Spule H zur —-Klemme gehen. In dem Maße aber als durch das Abbrennen der Kohlen der Widerstand im Stromkreise des Voltabogens zunimmt, sich also dem Widerstande im letztangegebenen Nebenstromkreise nähert, muß offenbar im letzteren die Stromstärke zunehmen, im ersteren abnehmen. Die Spule N mit ihren beiderlei Windungen wird dann ihre Anziehungskraft auf den zugehörigen Eisenkern steigern, während die Anziehungskraft der Spule H auf ihren Eisenkern im selben Maße abnimmt. Die Folge davon ist eine Gegeneinanderbewegung der beiden Kohlen bis auf ihre normale Entfernung.

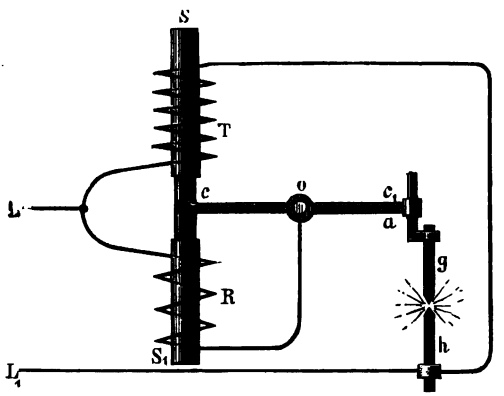
Sind die Kohlen ausgebrannt, so legen sich die Contactstücke a a gegeneinander und schalten die Lampe aus, indem sie den +-Pol mit dem —-Pole unter Einschaltung des Widerstandes s mit einander verbinden.

Sollen die Lampen parallel geschaltet werden, so erfährt sowohl ihre Construction als auch ihre Function noch weitere Vereinfachungen. Es mag hier nur noch angedeutet werden, daß in diesem Falle der Widerstand s und der Elektromagnet c mit seinem Platincontacte wegbleiben, und

daß überdies die Spule N nur eine einfache Wicklung erhält.

Bei der **Differentiallampe** von der Firma **Siemens & Halske**, welche von Hefner v. Alteneck construirt wurde, besorgt die Schwerkraft den Nachschub der Kohlen, während der Regulirungsmechanismus nur die Art und Zeit der Bewegung bestimmt. Hier kommen wegen dieses Umstandes

Fig. 89.



auch keine für die Anziehung verschieden günstigen Stellungen der Eisenkerne zu den Solenoiden vor. In welcher Art hierbei von der Stromverzweigung Gebrauch gemacht wurde, möge mit Hilfe des Schemas, Fig. 89, erörtert werden.

SS_1 ist ein Stab aus weichem Eisen, der an dem um o drehbaren Hebel befestigt ist, T stellt eine Nebenschließung von hohem Widerstande im Verhältnisse zum Stromweg in der Lampe und auch zum Lichtbogen vor, R ein in den Hauptstrom eingeschaltetes Solenoid von geringem Widerstande. Die Windungen der beiden Solenoide sind so an-

geordnet, daß diese den Eisenstab in entgegengesetzten Richtungen anzuziehen suchen, daher mit der Differenz ihrer anziehenden Kräfte, d. h. Stromstärken, wirken. Es wird infolge dessen auch die Regulirung des Lichtbogens stets das Resultat der Differentialwirkung beider Spulen sein.

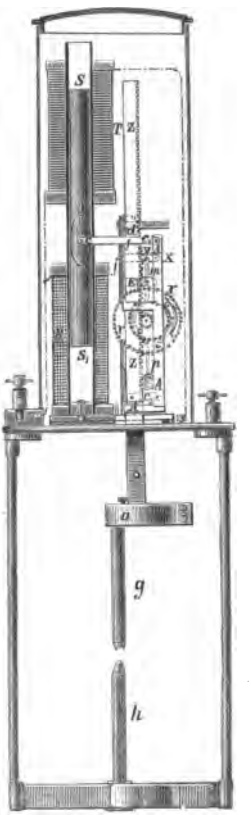
Nehmen wir an, die beiden Kohlen h und g berühren sich nicht, sondern sind von einander in einer gewissen Entfernung. Der Strom geht dann von L durch die Spule T von hohem Widerstande zur unteren Kohle h und von da über L_1 zur Stromquelle zurück; dadurch wird der Eisenkern $S S_1$ magnetisch und in T hineingezogen, also das Hebelende c_1 in seine tiefste Stellung gebracht. Im selben Moment löst sich der Kohlenhalter a vom Hebel $c c_1$ los und fällt langsam herunter, bis sich die beiden Kohlen treffen. Jetzt geht der Strom von L durch R g h nach L_1; nun wirkt aber die Spule R auf den Stab $S S_1$, zieht diesen nach unten und der Lichtbogen entsteht. Im ersten Momente der Hebung stellt sich auch die Verbindung von a und c_1 wieder her. Im Stromkreise ist jetzt zum Widerstande R noch der Widerstand des Lichtbogens hinzugekommen und dieser wächst mit der Länge des Lichtbogens; dadurch wird der Strom in T wieder stärker und in R schwächer, bis bei einem bestimmten Widerstande des Bogens sich die von T und R ausgeübten Anziehungskräfte das Gleichgewicht halten.

Die Kohlenstäbe brennen langsam ab, aber die gleiche Bogenlänge stellt sich immer wieder her. Bei entsprechend höherer Stellung des Eisenstabes $S S_1$ sinkt c_1 bis in seine unterste Stellung, wo dann die Lösung der Kuppelung und Erneuerung des früheren Spieles erfolgt. Wird im Stromkreise außerhalb der Lampe die Stromstärke verändert, so bringt dies allein in der Lampe keine Veränderung hervor,

weil die Stromstärke in den beiden Spulen in gleichem Verhältnisse sich ändert.

Für die Größe des Widerstandes, auf welchen der Bogen gebracht wird, ist das Verhältniß der Wirkungen der beiden Spulen R und T auf den Eisenkern maßgebend. Es wird voraus bestimmt durch Wahl des entsprechenden Widerstandes, die Zahl der Windungen oder mehr oder weniger tiefes Eintauchen des Stabes in die Spulen. Zu diesem Zwecke ist die obere Spule verstellbar angebracht.

Fig. 90.



Die Lampe selbst (Fig. 90) zeigt, daß der Kohlenhalter a Z nicht unmittelbar an den um d drehbaren Hebel $c\,c_1$ befestigt ist. Die Zahnstange Z hat ihre Führung in dem Theile A, welcher an dem Hebelende c_1 angehängt und durch eine Gelenkstange c_2 an seinem unteren Ende so geführt ist, daß sie bei den Schwingungen von $c\,c_1$ nur parallel mit sich selbst auf und ab bewegt werden kann. Die Zahnstange kann an dem Theile A nur langsam abwärts gleiten, indem sie dabei das Steigrad r und das Echappement E in Bewegung und dadurch das Pendel p mit seinem nach oben gehenden Arme m in Schwingung setzen muß, welche Theile sämmtlich an A gelagert sind und mit ihm auf- und abwärts gehen.

In einer gehobenen Lage des Stückes A ist der Arm m durch eine Kerbe in dem kleinen Hebel y, welcher bei x gleichfalls an das Stück A gelagert ist, festgehalten und damit das Echappement arretirt und die Zahnstange mit A verkuppelt.

Wenn aber A und somit y sich der untersten Stellung nähert, so wird der letztere durch einen am Gestell festsitzenden Stift ausgehoben und das Echappement, sowie die Zahnstange x von A frei, worauf die früher beschriebene Nachschiebung der Kohlen stattfindet.

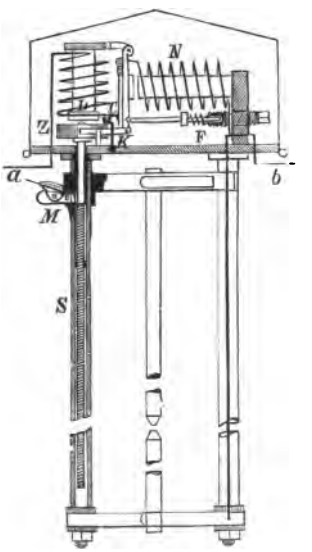
Jede Lampe regulirt sich mit Rücksicht auf die Stromstärke; man kann daher eine Reihe von Lampen in einem Stromkreise oder auch in mehreren Stromkreisen einer Maschine einschalten, in Parallel- oder Zweigleitungen; in letzterem Falle erhält man verschieden intensive Lichter. Wenn in einer Lampe die Kohlen abgebrannt sind, so erlischt sie und der Strom geht durch die Spule von großem Widerstande; um diesen Stromverlust zu vermeiden, wendet Siemens noch eine Contactvorrichtung an, welche einen kurzen Schluß bewirkt.

Bei den Differentiallampen älterer Construction ist die untere Kohlenelektrode fest. Jetzt wird die untere Kohle in eine Hülse gesteckt, in der sich eine Spiralfeder befindet, welche die Kohle nach aufwärts drückt. Oben wird die Kohle gehemmt durch einen (bei Abnützung leicht auswechselbaren) Kupferring, dessen innerer Durchmesser nahezu dem Durchmesser der Kohle gleichkommt. Dadurch kann immer nur der konisch zugespitzte Theil hervortreten. Die Länge jeder Kohle beträgt 40 cm, die Brenndauer einer Lampe acht Stunden.

Bei der **Flachdecklampe** von **Siemens & Halske**, welche in Fig. 91 schematisch dargestellt ist, wurde der hohe

Aufbau des Regulirungsmechanismus vermieden, was namentlich für Innenbeleuchtung geschlossener Räume von Belang ist, weil man in diesen Fällen die starken Bogenlichter möglichst nahe an der Decke anbringen soll. Die Hauptbestandtheile derselben sind der im Nebenschlusse zum Lichtbogen geschaltete Elektromagnet N mit Selbstunterbrechung bei C, die Abreißfeder F für dessen Anker, das Zahnrad Z mit seiner Schraubenspindel S, die dazu gehörige Mutter bei M, welche den oberen Kohlenhälter trägt, und weiters noch der den Lichtbogen bildende Elektromagnet D.

Fig. 91.



Stehen die Kohlen außer Berührung, so geht der bei a eintretende schwache Strom durch die Windungen des Elektromagnetes D, über den Contact bei C in die feindrähtige Bewicklung des Magnetes N und verläßt bei b die Lampe. Der Magnet N zieht seinen Anker an und unterbricht dadurch den Stromkreis durch Aufhebung des Contactes bei C; sofort reißt aber die Feder F den Anker wieder ab und stellt abermals den oben angegebenen Stromweg her. Diese Vorgänge wiederholen sich und bewirken eine hin- und hergehende Bewegung von K, wodurch das Zahnrad Z gedreht wird, so zwar, daß die mit ihr verbundene Schraubenspindel ihre Mutter, und somit auch den oberen Kohlenträger herabschraubt.

Sind in dieser Weise die Kohlen mit einander zur Berührung gebracht, so steht dem Durchgange des Stromes ein Weg von viel geringerem Widerstande als über die dünndrähtigen Windungen von N offen. Es geht dann nämlich ein Strom, und zwar ein starker Strom, von a über D bei K in das Lampengestelle, durch den oberen und unteren Kohlenträger und verläßt durch den Draht cb die Lampe. Hierdurch erlangt der Magnet D hinlängliche Kraft, um seinen Anker, welchen das eiserne Rad Z bildet, anzuziehen; damit werden die Spindel, ihre Mutter und der obere Kohlenträger gehoben und der Lichtbogen entsteht. Nimmt der Widerstand im Stromkreise des Lichtbogens infolge des Abbrennens der Kohlen zu, also die Stromstärke ab, so steigt letztere in den Windungen des Elektromagnetes N und dieser veranlaßt wieder in der vorhin angegebenen Weise ein Herabschrauben der oberen Kohle.

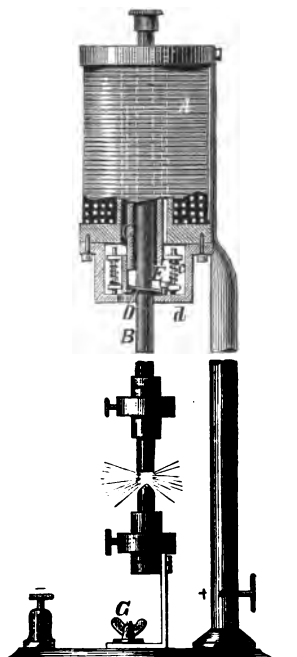
Um beim Einsetzen der Kohlen den oberen Kohlenträger rasch hinaufschieben zu können, hat man den Handgriff bei M zu heben, wodurch die Mutter außer Eingriff mit der Schraubenspindel gebracht wird.

Die Lampe von **Brush** gehört zu jenen Lampen, bei welchen der Nachschub der Kohlen durch die Schwere des Kohlenträgers bewirkt wird; charakteristisch für dieselbe ist jedoch die Anwendung eines Hemmringes, dessen Wirkungsweise am besten aus dem älteren, für Einzellicht construirten Modelle zu erkennen sein dürfte.

Eine verticale Messingsäule (Fig. 92) trägt an ihrem Ende ein Solenoid A mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes. Der Kern des Solenoides besteht aus einer schmiedeeisernen Röhre C, deren Gewicht zum Theile durch Spiralfedern c ausbalancirt ist. Unten an diesen angebrachte Schrauben d erlauben die Spannung der Federn zu regu-

liren. Innerhalb des Eisencylinders befindet sich frei beweglich der Träger B der oberen positiven Kohle. Der untere Kohlenträger ist durch die Schraube G mit seinem Fuße verstellbar. Der Eisencylinder C trägt einen Haken, der unterhalb des Ringes D, durch welchen der obere Kohlenträger frei hindurchgeht, eingreift.

Fig. 92.



Wenn das Solenoid stromlos ist, so liegt der Ring D auf der Grundplatte des Gehäuses auf, und der obere Kohlenträger fällt frei herunter, bis seine Kohle auf die untere Kohle trifft. Werden jedoch die Klemmen + und — mit den entsprechenden Polen einer Elektricitätsquelle verbunden, so geht der Strom durch die verticale Säule in das Solenoid, von diesem in die obere Kohle und durch die untere Kohle zur zweiten Klemme. Dann zieht das Solenoid das Eisenrohr C hinein und hebt mittelst seines Hakens den Ring D einseitig; die Kanten der Ringöffnung fassen den Kohlenträger B, und dieser, so am Hinabgleiten gehindert, muß vielmehr die Aufwärtsbewegung des Cylinders C mitmachen, also die beiden Kohlen von einander entfernen. Der auf diese Weise erzeugte Lichtbogen wird mit dem Abbrennen der Kohlen immer länger, der Strom im Solenoid aber durch den in solcher Art vermehrten Widerstand des Schließungsbogens immer schwächer und deshalb wird auch

der Cylinder C langsam herabsinken; dadurch wird aber der Ring sich wieder horizontal auf die Grundplatte des Gehäuses auflegen können, und damit dem Träger B ein neuerliches Herabsinken, also Näherbringen beider Kohlen gestatten. Dann wird aber der Strom sofort wieder wachsen, und das Solenoid den Eisencylinder unter Mitnahme des Ringes neuerdings heben. Die Bewegung des Ringes nach oben ist durch die verstellbare Anschlagschraube E begrenzt. Bei normaler Function der Lampe wird die ganze Bewegung darin bestehen, daß der Ring in regelmäßigen Zwischenpausen einseitig gehoben wird und das Nachsinken der oberen Kohle zeitweise hindert.

Die Lampen für Theilungslicht haben ganz denselben Regulirungsmechanismus, nur das Solenoid A besitzt doppelte Windungen, von welchen die inneren, aus dickem Drahte gebildet, in den Hauptstromkreis, die äußeren, bestehend aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, derart in einem Nebenschlusse angebracht sind, daß die Stromrichtung in der äußeren jener in der inneren Spirale entgegengesetzt ist. Das Solenoid wirkt dann immer mit der Differenz der magnetischen Momente beider Ströme, und zwar in folgender Weise: Wenn sich anfangs beide Kohlen berühren, wird zunächst ein kräftiger Strom durch die Spirale aus starkem Drahte, ein sehr schwacher Strom durch die im Nebenschlusse befindliche Spirale aus dünnem Drahte fließen. Der Eisencylinder wird mit der Differenz der beiden magnetischen Momente in das Solenoid hineingezogen, und bildet durch Hebung des oberen Kohlenträgers den Lichtbogen. In dem Maße, als dieser die Kohlen verzehrt, wächst der Widerstand im Hauptstromkreise, und sinkt daher dessen Stromstärke; im Nebenschlusse der feindrähtigen Spirale wird hingegen der Strom wachsen. Die Differenz

der magnetischen Momente beider Spiralen wird immer kleiner, daher ihre Anziehungskraft auf den Eisencylinder immer schwächer; dieser sinkt herab, der Ring stellt sich mehr und mehr horizontal und läßt den oberen Kohlenhälter nachsinken.

Um ein zu rasches Nachsinken des Kohlenträgers zu verhüten, ist derselbe als Röhre geformt und mit Glycerin gefüllt; in dasselbe taucht ein Kolben mit versetzten Bohrlöchern, dessen Stange am oberen Theile der Lampe befestigt ist; da die Röhre (der Kohlenträger) nur mit der Schnelligkeit sinken kann, als das Glycerin durch den Kolben fließt, ist hiermit eine Dämpfung der Bewegung erreicht. Die Lampe ist ferner mit einem zweiten Nebenschlusse ausgerüstet, dessen Zweck darin besteht, eine Lampe, welche aus irgend einer Ursache verlischt, aus dem Stromkreise auszuschalten, ohne das Brennen der übrigen Lampen zu stören. Hierzu wird ein Elektromagnet verwendet, der gleichfalls mit dünnen und dicken Drähten umwunden ist. Wird nun aus irgend einem Grunde der Hauptstrom in der Lampe unterbrochen, so geht ein kräftiger Strom durch den dünnen Draht dieses Elektromagnetes; dieser zieht seinen Anker an und schaltet hierdurch die Spirale mit dickem Draht in den Stromkreis ein. Der Strom geht nun durch den Anker der Ausschaltevorrichtung, durch die wenigen Windungen dicken Drahtes derselben und zur nächsten Lampe. Die Spirale mit dünnem Drahte wird stromlos und dadurch einem unnützen Stromverluste vorgebeugt.

Die Lampen werden mit schwach verkupferten Kohlenstäben von 12 mm Durchmesser und 0·305 m Länge versehen. Bei der Anwendung eines Stromes von 10 A haben sie eine Brenndauer von acht Stunden. Für größere Brenndauer construirte Brush Lampen mit zwei oder mehreren

Kohlenpaaren. Eine Lampe mit zwei Kohlenpaaren ist in Fig. 93, als Straßenlaterne montirt, abgebildet.

Fig. 93.

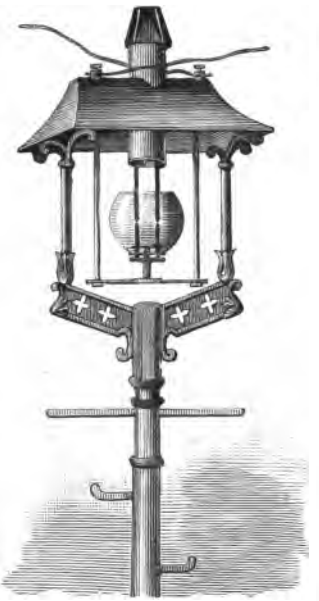
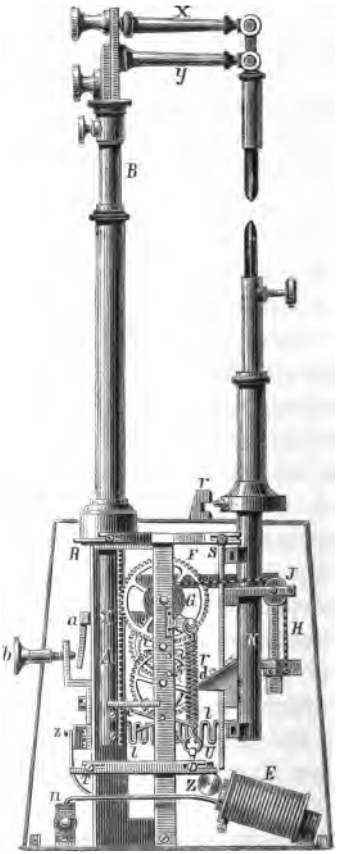


Fig. 94.



Bei einer größeren Anzahl von Lampen wird zwar auch durch die Schwere des einen Kohlenträgers die Bewegung der Kohlen bewirkt, doch erfolgt die Hemmung nicht durch einen Bremsring, sondern durch den Sperrhaken eines Räderwerkes. Zu dieser Lampengruppe zählt z. B. der schon im Jahre 1859 von **Serrin** construirte Regulator.

Ursprünglich für Batterieströme construirt, erwies sich die Serrin'sche Lampe in der Folge auch für Wechselströme brauchbar. Der obere positive Kohlenträger B (Fig. 94) trägt in seinem unteren Drittel eine Zahnstange A, welche in das Zahnrad F eingreift; mit F auf derselben Axe sitzt eine Rolle G, deren Radius halb so groß ist als der des Zahnrades. Von dieser Rolle geht eine Stahlkette über die Führungsrolle J zu einem Elfenbeinstücke, das mit dem unteren negativen Kohlenhalter K verbunden ist.

Am Boden des Lampenkastens ist ein Elektromagnet E angebracht, dessen horizontaler Anker Z an dem Parallelogramme RSTU befestigt ist. RS kann sich um R und TU kann sich um T drehen. Die verticale Seite SU ist mit dem Querstücke, welches die Rolle J trägt, verbunden; damit das Parallelogramm nicht durch seine Schwere herabsinkt, sind zwei Federn r (die zweite ist in der Zeichnung nicht sichtbar) angebracht, deren eine durch die Schraube b und den Hebel a stärker oder schwächer gespannt werden kann; die Federn werden so regulirt, daß RS und TU horizontal stehen. Das letzte Rad der Räderübersetzung bildet ein Sternrad e, in welches der dreieckig gestaltete Sperrzahn d eingreifen kann. Wird der obere Kohlenträger B hinaufgezogen, etwa um neue Kohlen zu befestigen, so dreht sich nur das Rad F, während das übrige Räderwerk in Ruhe bleibt, weil das zweite Rad eine Sperrvorrichtung besitzt, welche die Drehung nur nach der entgegengesetzten Richtung gestattet. Die Arme x und y mit ihren Schrauben dienen zur genauen Einstellung der oberen Kohle.

Der Strom wird durch die Metallbestandtheile der Lampe in den Kohlenträger B geleitet, gelangt dann durch die obere positive und die untere negative Kohle in den Träger K, von hier durch den Spiraldraht ll zu einer

isolirten Klemme z, die mit dem Elektromagnete E verbunden ist; von diesem geht der Strom durch einen Draht zur Klemme n und wieder zur Stromquelle zurück. Sobald der Strom geschlossen ist, zieht E seinen Anker Z an und die Seite S U des Parallelogrammes sinkt etwas nach abwärts; mit ihr sinkt auch der untere Kohlenträger und wegen dessen früher beschriebener Verbindung mit dem Zahnrade F steigt der obere Kohlenträger B. Die Kohlen werden also von einander entfernt und es entsteht der Voltabogen. Der obere Träger kann trotz seines Gewichtes nicht herabsinken, da durch das Sinken des unteren Kohlenträgers der Sperrzahn d zum Eingriffe in das Sternrad e gebracht wurde und damit das Räderwerk arretirt ist. Durch Abbrennen der Kohlen wächst nun der Widerstand im Schließungsbogen, der Strom wird schwächer und mit ihm auch der Elektromagnet. Es kommen daher die seiner Anziehung entgegenwirkenden Federn r zur Geltung und ziehen das Parallelogramm nach oben. Dadurch wird aber auch der Sperrzahn d gehoben und das Räderwerk freigegeben. Es sinkt jetzt der Kohlenträger B und hebt durch das Rad F die Rolle G und die Kette H den unteren Kohlenträger K, d. h. die beiden Kohlen werden einander genähert. Da, wie früher erwähnt, die Durchmesser des Rades F und der Rolle G sich wie 1:2 verhalten, so rückt die negative Kohle halb so viel nach oben als die positive Kohle nach unten, also ganz entsprechend dem ungleichförmigen Abbrennen beider Kohlen. Der Voltabogen bleibt daher an derselben Stelle. Das Nachrücken der Kohlen hat indessen den Widerstand im Schließungsbogen verringert und so den Strom und mit ihm den Elektromagnet wieder zu den ursprünglichen Stärken gebracht. Es wird deshalb der Anker wieder angezogen und das Uhrwerk arretirt, wodurch der weitere

Nachschub der Kohlen beendet ist, bis neuerdings durch Abbrennen der Kohlen der Widerstand zugenommen hat.

Dieses Spiel geht während der ganzen Brenndauer ununterbrochen fort. Durch die Spannung der Federn r mittelst der Schraube b und des Hebels a kann das Parallelogramm, conform der Stromstärke, so ausbalancirt werden, daß die geringsten Stromschwankungen genügen, um das Uhrwerk in Thätigkeit zu setzen, also den Voltabogen in ganz constanter Größe zu erhalten. Ebenso wird durch das Anziehen der Schraube b das Parallelogramm etwas gehoben, durch Nachlassen derselben etwas gesenkt, wodurch die Lampe für einen größeren oder kleineren Voltabogen eingestellt werden kann.

Drückt man den unteren Kohlenhalter etwas nach abwärts, so wird auch das Parallelogramm gesenkt und dadurch das Uhrwerk gehemmt: die Function der Lampe ist unterbrochen. Will man diesen Zustand erhalten, so dreht man den Kohlenhalter ein wenig, so daß der unten angebrachte Zapfen zum Eingriff in das Stück r kommt.

Lontin hat den Serrin'schen Regulator dahin abgeändert, daß er den Elektromagnet nicht in den Hauptstromkreis, sondern in den Nebenschluß legt, womit die Lampe auch für Theilungslicht anwendbar wird.

Die **Nebenschluß-Lampe** von **Gramme** ist in den Figuren 95 und 96 in zwei Seitenansichten dargestellt. Die Zahnstange A A trägt die obere positive Kohle und dient durch ihr Gewicht als Motor für die Bewegung der letzteren; die untere negative Kohle wird an einem Querstücke C befestigt, welches mit zwei Stangen B B verbunden ist. Diese wird an ihrem oberen Ende mit einer schmiedeeisernen Traverse b b verschraubt, welche den Anker zu den im Hauptstrome eingeschalteten Elektromagneten E E bildet,

und welche durch die Spiralfedern D D immer nach aufwärts gezogen sind. Der in einen Nebenzweig eingeschaltete

Fig. 95.

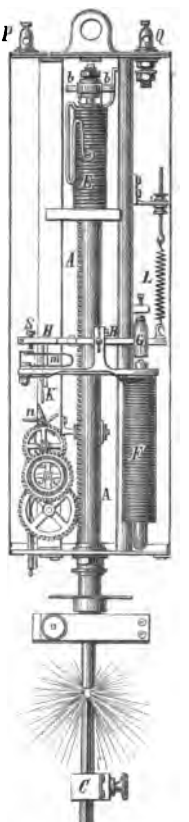
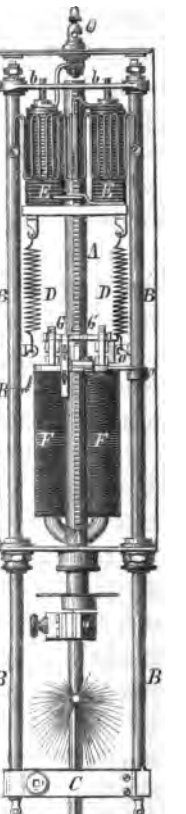


Fig. 96.



Elektromagnet F F von großem Widerstande besitzt einen Anker G, welcher auf dem um I drehbaren Hebel H H be-

festigt ist. Am anderen Ende des Hebels ist mit diesem fest verbunden ein Sperrzahn K, der in das Sperrrad n eingreifen kann. L ist eine Spiralfeder, welche den Anker G vom Magnete F stets abzieht. m ist eine Contactfeder und S ein Contactstift.

Die Function der Lampe ist folgende: durch die Einwirkung der Federn DD und des Ansatzes o o wird in der Ruhelage immer das Ende des Hebels HH, an welchem sich der Sperrzahn K befindet, in die Höhe gezogen, wodurch das Sperrrad n frei wird und die Zahnstange AA vermöge ihres Gewichtes herabsinkt, bis sich beide Kohlen berühren. Der Strom kann nun durch die Lampe gehen. Er tritt bei P ein, geht durch die Metallbestandtheile der Lampe zum oberen Kohlenträger A, dann durch die untere Kohle in die Stangen BB und von hier durch den Elektromagnet EE zur Klemme Q. Die Klemmen P und Q sind mit den Polen der Lichtmaschine verbunden, wenn nur eine Lampe in den Stromkreis eingeschaltet ist; sind mehrere Lampen im selben Kreise, so ist die Klemme Q mit der nächsten Lampe verbunden u. s. w., bis endlich von der letzten Lampe der Draht zur Maschine zurückführt.

Bei R ist eine Abzweigung, durch welche ein Theil des Hauptstromes, ohne den Lichtbogen zu passiren, den Elektromagnet FF umkreisen kann. Sein Weg ist aus der Masse der Lampe durch den Stift S in die isolirte Contactfeder m, dann durch den Elektromagnet F und bei R wieder in die Masse der Lampe zurück.

Sobald ein Strom durch die Lampe geht, zieht der Elektromagnet E die Traverse b an, drückt somit die Stangen BB und mit diesen die untere Kohle hinunter und stellt in solcher Weise den Lichtbogen her. In dieser Stellung bleibt der untere Kohlenhalter während der ganzen Zeit des

Betriebes unverrückt stehen. Infolge der Abwärtsbewegung der Stangen B und damit des Ansatzes o o wird der Hebel H frei; der Sperrzahn K gelangt unter der Einwirkung der Feder L zum Eingriffe in das Sperrrad n und ein Nachsinken der oberen Kohlen kann somit nicht mehr stattfinden. Der Elektromagnet F F ist sehr groß und, wie erwähnt, besitzen seine Drahtwindungen einen hohen Widerstand; der in jenem circulirende Zweigstrom ist daher sehr schwach. Wird aber durch das Abbrennen der Kohlen der Voltabogen länger und somit der Widerstand im Hauptstromkreise größer, so wird der Strom in diesem schwächer, im Nebenschlusse aber stärker. Der Elektromagnet F zieht dann seinen Anker G an und bringt hierdurch den Sperrzahn K außer Eingriff. Jetzt ist das Sperrrad und mit ihm das übrige Räderwerk frei, die Zahnstange und mit ihr die obere Kohle kann nachsinken. Im selben Momente wird aber auch der Contact des Stiftes S und der Feder m unterbrochen und somit der Strom, welcher durch den Magnet ging, aufgehoben. Die Feder L zieht daher den Anker ab und wieder in seine Ruhelage zurück, wodurch das Räderwerk und mit ihm das Nachsinken der Kohle wieder unterbrochen wird.

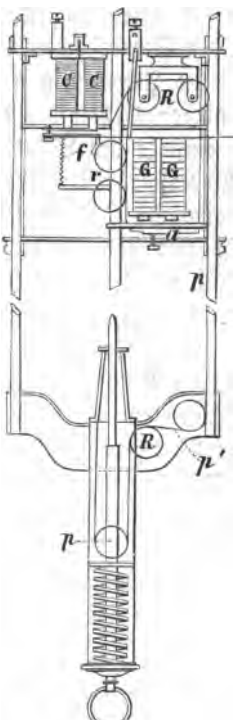
Brennen die Kohlen weiter ab, so beginnt das obige Spiel von neuem und so geht es fort, so lange die Lampe brennt.

Da die Stromstärke im Hauptstrome nicht plötzlich abnimmt, die im Nebenstrome infolge dessen nicht plötzlich zunimmt, so erfolgt das Nachschieben der Kohle nicht in großen, merkbaren Sprüngen, sondern continuirlich, stets mit dem Abbrennen der Kohlen gleichen Schritt haltend.

Unter Beibehaltung des Kohlenträgergewichtes als Motor für die Kohlenbewegung kann zur Regulirung dieser

Fig. 97.

Fig. 98.



Bewegung auch die magnetische Bremsung Anwendung finden; es ist dies z. B. bei den Lampen von Crompton und Gülcher der Fall.

Die Lampe von **Crompton** ist durch die Fig. 97 und 98 dargestellt. Der Regulirungsmechanismus wirkt hierbei mit Hilfe zweier Elektromagnete G G und C C, von welchen der erstere in den Haupt- und der letztere in einen Nebenstromkreis geschaltet ist. Berühren sich beide Kohlen, so fließt der Strom durch den Elektromagnet G G und dieser zieht seine Armatur a an, wodurch das Räderwerk r sammt oberen Kohlenträger etwas gehoben wird; auf diese Weise entsteht der Lichtbogen. Hierauf geht bei zunehmendem Widerstande im Voltabogen ein Zweigstrom durch den Elektromagnet C C, welcher nun gleichfalls seine Armatur anzieht und dadurch die Bremse f von dem Rade abhebt; das Räderwerk wird frei und die obere Kohle kann nachsinken. Gleichzeitig hiermit wird die untere Kohle gehoben, da der obere Kohlenträger mit dem unteren durch die über die Rollen R laufende Schnur p verbunden ist. Durch diese Anordnung wird bewirkt, daß der Lichtpunkt während der ganzen Brenndauer in constanter Höhe bleibt.

Die Lampe von **Gülcher**, und zwar das Modell einer Setzlampe, ist in Fig. 99 abgebildet.

Die obere positive Kohle wird durch eine eiserne, in Gleitrollen geführte Stange F getragen. Diese ist mit dem unteren negativen Kohlenträger derart durch Rollen und Schnurlauf verbunden, daß sie immer den doppelten Weg zurücklegen muß, als der untere Kohlenhalter. Es sind nämlich, wie aus der Figur zu ersehen, zwei Rollen auf einer Axe befestigt, deren Durchmesser sich wie 1 : 2 verhalten; die Schnur, mit welcher der obere positive Kohlenträger aufgehängt ist, geht über die größere, die Schnur, an welcher der untere negative Kohlenträger hängt, läuft über die kleinere Rolle. Da beide Rollen auf einer Axe sitzen, müssen sich auch beide immer um gleiche Winkel drehen.

Von der größeren Rolle wickelt sich aber hierbei ein dem größeren Umfange entsprechendes größeres Stück Schnur ab als von der kleineren, also muß auch der positive Kohlenträger einen größeren Weg zurücklegen als der negative. D ist ein um C drehbarer Elektromagnet, K eine Feder, die gegen die Fassung des Elektromagnetes derart drückt, daß sie ihn gegen den Anschlag L zu drehen sucht. Eine unten angebrachte Schraube dient zur Spannung der Feder. H ist ein Klotz aus weichem Eisen, J ein an der Feder E befestigtes Stück Schmiedeeisen. Der Elektromagnet hat sowohl bei J, als auch an der entgegengesetzten Seite halbkreisförmig abgerundete Pole. Bei J greift der Eisenschuh außerdem noch über ein Stück der unteren Seite des Magnetes.

Stromgang und Function der Lampe: Die Klemmschraube A wird mit dem + Pole der Elektricitätsquelle verbunden und der Strom gelangt von hier durch den Träger B und den Metallring C in die Umwindungen des Elektromagnetes, von diesem durch den Eisenkern zum Theil direct in den eisernen Träger F, zum Theil durch das weiche Eisenstück J und die Feder E in das metallene Gehäuse und von da durch die metallischen Gleitrollen gleichfalls in den oberen Kohlenträger F, dann durch beide Kohlen in den unteren Träger und von hier durch die Gleitrolle und eine Drahtleitung zur Klemme G, welche mit dem negativen Pole der Maschine verbunden ist. Sobald der Stromkreis geschlossen wird, zieht der Elektromagnet D den eisernen Kohlenträger F stark an, wird aber gleichzeitig durch das weiche Stück Eisen H angezogen; die Folge davon ist, daß sich der Magnet um C derart dreht, daß der obere Kohlenhalter F aufwärts und vermöge seiner Verbindung mit dem unteren Kohlenhalter dieser abwärts geschoben wird, d. h. die Kohlenspitzen werden von einander

Fig. 99.

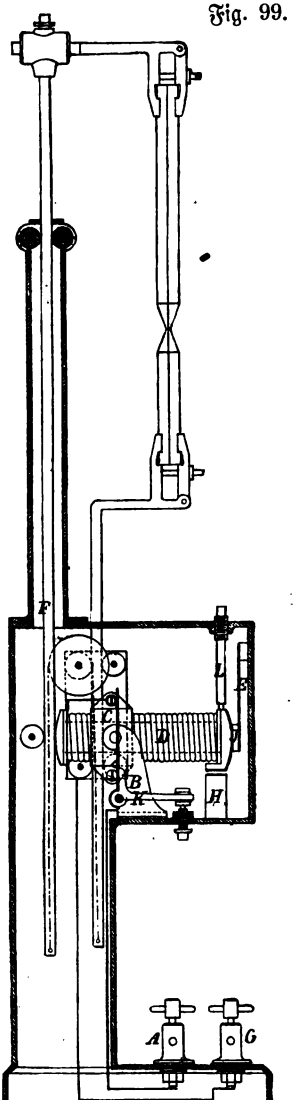


Fig. 100.

entfernt. Hierdurch entsteht der Voltabogen. Nun brennen

die Kohlen ab, der Strom wird wegen des dadurch wachsenden Widerstandes schwächer, der Magnet verliert an Kraft und wird deshalb von H immer weniger angezogen. Jetzt überwiegt die Schwere des oberen Kohlenhalters die Anziehung bei H und der Magnet dreht sich entgegengesetzt der früheren Richtung, bis er bei L seinen Anschlag findet. Dies bewirkt eine Annäherung der Kohlen; bei weiterem Abbrennen derselben wird der Strom und mit ihm der Magnet in der früher angegebenen Weise so weit geschwächt, daß er den Kohlenträger F nicht mehr anzieht, dieser also wieder durch seine eigene Schwere sinken kann. Er sinkt so lange, bis der Strom und mit ihm der Magnet durch Verkleinerung der Entfernung der Kohlenspitzen von einander wieder die ursprüngliche Stärke erreicht haben. Diese Regulirung erfolgt natürlich nicht sprungweise, sondern continuirlich, genau dem Abbrennen der Kohlen folgend. Damit die Schwingungen des Elektromagnetes auch beim Anzünden oder bei außergewöhnlichen Regulirungsmomenten nicht zu heftig werden, ist der dem Kohlenträger F abgewandte Pol des Elektro-Magnetes mit der magnetischen Bremse J versehen.

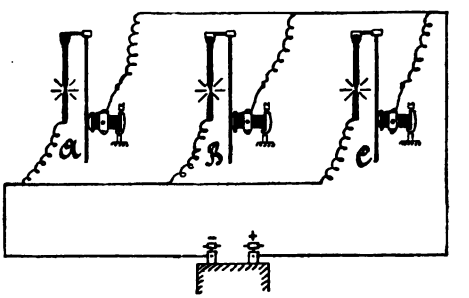
Es ist klar, daß das weiche Eisenstück J desto kräftiger bremst, je kräftiger der Magnet ist, überhaupt seine Bremskraft genau nach der jeweiligen Kraft des Magnetes richtet, also diesen stets zu ruhigem Gange zwingt.

Zur Erzielung einer gleichmäßigen Bewegung sind ferner der Kohlenhalter und der ihn berührende Polschuh mit einem Messingüberzuge versehen. Für die Verwendung der eben beschriebenen Lampe zur Beleuchtung von Sälen ꝛc. hat Gülcher dieselbe derart abgeändert, daß er den ganzen Mechanismus oberhalb der Kohlen anordnet, wie dies Fig. 100 zeigt. Die Lampe fungirt sehr gut und läßt gar

keine Schwankungen des Lichtes wahrnehmen. Letzteres ist nahezu weiß, frei von jeder violetten Färbung. In welcher Weise sie trotz der Einfachheit ihrer Construction als Lampe für Theilungslicht fungiren kann, wird nachstehende Betrachtung lehren.

Angenommen, es seien zunächst zwei Lampen A und B (Fig. 101) in den Stromkreis eingeschaltet und die Lampe A sei durch Schluß ihrer Zweigleitung angezündet; nun schließt man auch die zweite Zweigleitung für die Lampe B.

Fig. 101.



Der von der Lichtmaschine kommende Strom theilt sich nun in zwei Zweige, dessen einer durch A, dessen zweiter durch B geht. In B berühren sich die Kohlen, es wird daher der Widerstand geringer sein als in A, wo der Strom den bedeutenden Widerstand des Voltabogens zu überwinden hat. Infolge dessen wirkt in B der Elektromagnet kräftig und entfernt dadurch die Kohlen von einander. Zur selben Zeit war der Strom in A schwächer und die Kohlen konnten sich nähern. Nun hat sich das Verhältniß umgekehrt: die Kohlen sind in A näher aneinander, in B weiter von einander; es wirkt der Magnet in A stärker und in B schwä-

cher, also werden in A die Kohlen von einander entfernt, in B einander genähert. Dieses Spiel geht so lange fort, bis sich zwischen beiden Lampen das der Stromstärke entsprechende Gleichgewicht hergestellt hat, was thatsächlich in kürzester Zeit erreicht ist. Es ist klar, daß man dann eine dritte Lampe C einschalten kann, die sich mit den zwei ersten Lampen, diese als Ganzes betrachtet, wieder ins Gleichgewicht setzt u. s. w.

Die gleichmäßige Vertheilung der Ströme für die einzelnen Lampen wird durch Parallelschaltung und dadurch erreicht, daß der Querschnitt der Leitung immer derjenigen Stromstärke entspricht, die an der betreffenden Stelle vorhanden sein soll. Um dies zu erreichen, berechnet man zunächst für die Anzahl m der einzuschaltenden Lampen den Querschnitt der Leitung für den Hauptstrom nach der Formel:

$$\frac{\pi\ D^2}{4} \text{ oder}$$

$$\frac{m\ \pi\ d^2}{4}; \text{ man hat also}$$

$$\frac{m\ \pi\ d^2}{4} = \frac{\pi\ D^2}{4} \text{ oder}$$

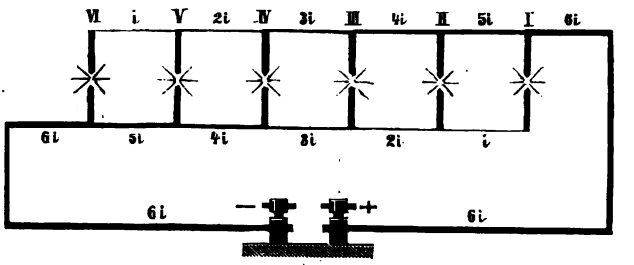
$$d = D\ \sqrt{\frac{1}{m}} \text{ als Größe für den}$$

Durchmesser eines Theildrahtes. Nun bildet man aus m Drähten vom Durchmesser d ein Drahtbündel, verbindet das eine Ende dieses Bündels mit einem Pole der Maschine (Fig. 102) und führt es dann bis zur Lampe I: hier zweigt man einen Leitungsdraht ab, führt die übrigen m — 1 Leitungsdrähte bis zur Lampe II, zweigt wieder einen Draht ab, führt die m — 2 Drähte zur Lampe III u. s. w. bis zur letzten Lampe, für welche noch ein Draht übrig

bleibt. Ein zweites, ebenso starkes Bündel verbindet man mit dem zweiten Pole der Maschine, führt dieses dann bis zur letzten Lampe, zweigt einen Draht ab, führt die übrigen m — 1 Drähte zur vorletzten Lampe u. s. w., und verbindet endlich den zuletzt übrig gebliebenen Draht mit der Lampe, I.

Aus der Fig. 102 ersieht man leicht, daß die Weglängen aller Theilströme unter einander gleich groß sein müssen. Aber der Querschnitt der Leitung entspricht an jeder

Fig. 102.



Stelle genau der Strommenge, welche dieselbe durchfließen soll. Da die Intensität J des Hauptstromes gleich ist der Summe der Intensitäten der Nebenströme, so kann man bei m Nebenströme von der Intensität i schreiben

$$J = m\,i.$$

Es fließt also in der Hauptleitung bis zur Lampe I ein Strom von der Intensität $J = m\,i$, von der Lampe I zur Lampe II ein Strom von der Intensität $\frac{m-1}{m} J = (m-1)\,i$, von der Lampe II zur Lampe III $(m-2)\,i$ u. s. w.

Ganz in derselben Weise nimmt aber auch der Querschnitt der Leitung ab. Betrachtet man die Rückleitung, so

kommt man zu demselben Resultate. Das Problem der Theilung ist also hier durch Parallelschaltung gelöst und letztere durch die einfache Construction der Lampen ermöglicht.

Dieses Beleuchtungssystem zeichnet sich durch sichere Wirkungsweise einfach construirter und daher billiger Lampen aus. Es liefert ein rein weißes, von violetten Nüancen freies Licht, da es keiner hochgespannten Ströme bedarf, selbst wenn eine größere Anzahl von Lampen in einen Stromkreis geschaltet wird. Hingegen erfordert die Parallelschaltung einen größeren Aufwand von Leitungsmaterial als die Hintereinanderschaltung. Dieser Umstand ist namentlich dann in Betracht zu ziehen, wenn es sich um größere Anlagen oder lange Leitungen handelt.

Schließlich mögen noch zwei Bogenlampen Erwähnung finden, welche dadurch gekennzeichnet erscheinen, daß sie gar keiner besonderen Einrichtung für den Nachschub der Kohlen und für die Regulirung dieses Nachschubes bedürfen, da die Entfernung der beiden Kohlenstäbe von einander durch Zwischenlagerung eines nicht leitenden Materials dauernd fixirt ist. Zu diesen Lampensorten zählen die elektrischen Kerzen, die Soleil-Lampe u. a.

Die **Kerze von Jablochkoff** hat zwar gegenwärtig keinen besonderen praktischen Werth mehr, ist aber deshalb interessant, weil sie den ersten in großem Maßstabe gelungenen Versuch der Theilung des elektrischen Lichtes darstellt.

Die Kerze besteht aus zwei parallelen Kohlenstäben a, b (Fig. 103), die durch eine Schichte Pariser Gyps von einander isolirt sind. Die unteren Enden der Kohlenstäbe stecken in Messingröhrchen, gegen welche zwei Metallklemmen e und g federnd drücken. Durch letztere erfolgt die Zuleitung des Stromes in die Kerze; sie ist auf einer durchscheinenden

Platte h befestigt. Um die Kerze anzünden zu können, befindet sich am oberen Ende derselben ein quer über beide Kohlenspitzen gelegtes Graphitblättchen c, das durch eine übergeklebte Papierschlinge d in seiner Lage erhalten wird.

Wird die Kerze in den Stromkreis eingeschaltet, so geht der Strom von dem einen Kohlenstäbchen durch das Graphitblättchen zum zweiten und wieder zur Stromquelle zurück; das Graphitblättchen wird glühend und verdampft. Nun bildet sich zwischen beiden Kohlen der Voltabogen, welcher durch seine Hitze die isolirende Zwischenschichte zum Schmelzen und Verdampfen bringt. Letztere wird in demselben Maße verzehrt, als die Kohlen abbrennen. Da aber die positive Kohle beiläufig noch einmal so schnell abbrennt als die negative, so mußte erstere, um ein gleichmäßiges Abbrennen beider Kohlen zu erreichen, von doppelt so großem Querschnitte als letztere genommen werden. Das Verhältniß ist jedoch kein genaues, die Kerzen brennen deshalb doch ungleichförmig und so mußte man zu Wechselströmen seine Zuflucht nehmen, durch welche bekanntlich beide Kohlen spitz und gleich schnell abbrennen.

Fig. 103.

Eine Kerze von 220—225 mm Länge und 4 mm Durchmesser brennt bei einer Lichtstärke von 100 Carcelbrennern $1\frac{1}{2}$ Stunden.

In einen Stromkreis können mehrere Kerzen eingeschaltet werden und die Summe der Lichtintensität aller

Kerzen ist größer als jene Intensität, welche im selben Stromkreise erhalten würde, wenn man nur eine Kerze eingeschaltet hätte. Es rührt dies daher, daß nicht nur der Voltabogen zwischen beiden Kohlen leuchtet, sondern auch die verdampfende Gypsschichte zur Gesammtlichtstärke beiträgt. Wegen der kurzen Brenndauer einer Kerze werden immer mehrere Kerzen in einer Lampe angebracht.

Trotz ihrer scheinbaren Einfachheit können sie heutzutage, wo eine größere Anzahl von Lampen das Problem der Theilung des elektrischen Lichtes in vorzüglichster Art gelöst hat, nicht mehr empfohlen werden, da ihre Anwendung eine Reihe von Uebelständen mit sich führt, die sehr lästig werden können. Das Licht ist unruhig, flackernd und wechselt häufig die Farbe; erlischt eine Kerze, so erlöschen im selben Stromkreise alle, oder wenn dies durch irgend welche Vorrichtungen mehr oder weniger sicher verhindert wird, zündet sich eine einmal erlöschte Kerze nicht mehr selbstthätig an. Die elektrischen Kerzen bedürfen der Wechselstrommaschinen, weshalb sie auch alle Nachtheile, welche die Anwendung dieser mit sich bringt, zeigen müssen. Sie werfen ihr Licht nach oben, statt gegen den Boden. Dieser Uebelstand ist bei der Kerze von Jamin allerdings vermieden, dafür entbehrt diese aber der Einfachheit der Jablochkoff-Kerze, ohne die Vorzüge einer gut construirten Regulatorlampe zu besitzen.

Ferner brennen die Kohlen in der Kerze viel schneller ab als in einem Regulator und machen dadurch den Betrieb einer Beleuchtungsanlage viel theuerer als die Anwendung von Regulatoren.

Bei der von Street und Maquaire construirten **Soleil-Lampe** werden die Kohlenstäbe B und C (Fig. 104) durch einen Marmorblock auseinander gehalten, der außer mit den zur Einführung der Kohlen dienenden Bohrungen

noch mit einer trichterförmigen Oeffnung A versehen ist; durch diesen Trichter, der gleichzeitig als Reflector wirkt, sieht man den Voltabogen. Das die Kohle C durchdringende Kohlenstäbchen D dient zum Anzünden der Lampe. Der Marmorblock ist in eine eiserne Büchse a b (Fig. 105) eingeschlossen, welche behufs Einführung der Kohlen mit den Röhren c d versehen ist. Die Gegeneinanderbewegung der Kohlen besorgen die Spiralfedern f f, durch ihre Winkelhebel, deren Arme h h auf die freien Kohlenenden drücken. Sind die Kohlen verzehrt, so legen sich die Arme k k' dieser Hebel gegen die Contacte m m' und schalten dadurch die Lampe aus, weil sowohl der Contact m durch den Draht l l mit dem Hebel k' h' und der Polklemme S' leitend verbunden ist, als auch der Contact m' mit dem Hebelsystem h k und der dazu gehörigen Polklemme S der Lampe in leitender Verbindung steht.

Das selbstthätige Anzünden wird in nachstehender Weise bewirkt. Der dünne Kohlenstab D (Fig. 104) ist an einer Metallstange o o (Fig. 105) befestigt, welche durch die Schraube u an die Eisenröhre r geklemmt wird. Ein kleines Gewicht p bewegt die Stange o mit ihrem Kohlenstäbchen und der Röhre durch den engen Canal des Marmorblockes, bis das Stäbchen gegen die Kohle B (Fig. 104) anstößt. Die Röhre r ist von einem weiteren Rohre eingeschlossen, welches bei E ein Solenoid trägt, dessen Windungen vom Lampenstrome durchflossen werden, bevor dieser noch in die Lampe selbst gelangt. Der Metallstab o ist mit den Drahtwindungen des Solenoides durch eine Zweigleitung (bei der Schraube u) verbunden. Sobald nun der Strom die Drahtwindungen von E durchfließt, zieht das Solenoid die Eisenröhre an und bewegt dadurch den Stab o mit seinem Kohlenstabe von der mit ihm in Berührung gestandenen Lampenkohle

weg. Gleichzeitig geht aber durch die Zweigleitung ein Strom in die Stange o, das Kohlenstäbchen und zur gegen-

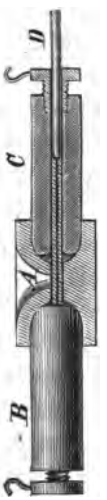


Fig. 104.

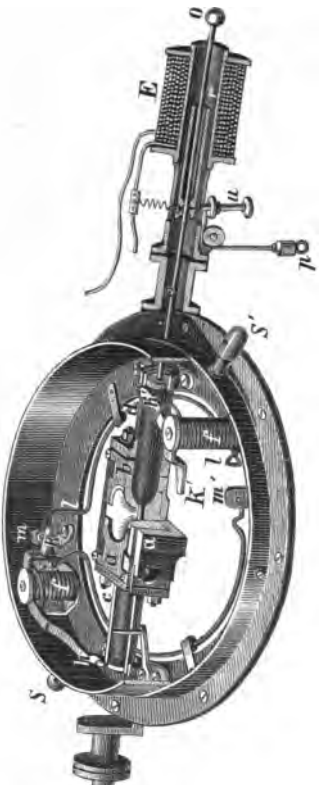


Fig. 105.

überliegenden Lampenkohle, wodurch zwischen letzterer und dem Kohlenstäbchen ein kleiner Voltabogen gebildet wird. Ist dann das Kohlenstäbchen bei seiner Rückbewegung ganz in den Hohlraum der hohlen Lampenkohle hineingelangt, so ist hierdurch der Schluß des Hauptstromes zwischen den beiden Lampenkohlen hergestellt und der Voltabogen zwischen diesen gebildet. Diese Vorgänge spielen sich nicht nur beim ersten Anzünden der Lampe, sondern natürlich auch dann

ganz in derselben Weise ab, wenn die Lampe aus irgend einer Ursache erlöschen sollte.

Die Lampe kann sowohl mit Wechselströmen, als auch mit gleichgerichteten Strömen betrieben werden und erzeugt ein sehr ruhiges Licht. Selbst ein sehr starkes Schwanken der Stromstärke bewirkt noch kein Erlöschen des Bogens, da der weißglühende Marmor den elektrischen Strom leitet und daher dieser schon längere Zeit sehr geschwächt oder ganz unterbrochen sein muß, bis die Abkühlung des Marmors so weit fortschreitet, daß die Lampe erlischt. Sie kann infolge ihrer Construction in jeder gewünschten Lage, z. B. auch mit nach oben gekehrtem Voltabogen (wie dies in den beiden Figuren dargestellt ist) verwendet werden. Der Marmorblock dauert mindestens 15 Stunden und von den Kohlen verbrennen beiläufig 2 mm pro Stab und Stunde. Die normale Länge der Kohlen beträgt 10 cm, doch können auch Kohlenstücke zur Verwendung kommen. Nach den Angaben der Ingenieure der Gesellschaft bedarf eine Lampe von 90 Carcelbrennern Lichtstärke eines Kraftaufwandes von $1^1/_2$ HP, eine Lampe von 120 Carcelbrennern von 2 HP. Der Preis der Lampe beträgt 200 Francs, der Lampenkohle pro m 3 Francs, der Anzündekohle 75 Centimes pro m und des Marmorblockes 75 Centimes.

V.

Beleuchtungsanlagen.

Da die Anzahl der Lichtmaschinen, ebenso wie jene der Lampen, eine bedeutende ist, gewisse Gruppen derselben unter einander principiell verschieden sind, da, im Falle

keine bewegende Kraft bereits vorhanden ist, für eine solche wieder durch mancherlei Maschinen vorgesorgt werden kann, da endlich bei elektrischen Beleuchtungsanlagen Producent und Consument gegenwärtig häufig noch in einer Person vereinigt sind (was z. B. bei der Gasbeleuchtung nur ausnahmsweise der Fall ist), so gestaltet sich die Ausführung elektrischer Beleuchtungsanlagen in außerordentlich verschiedener Weise. Es lassen sich aus diesen Gründen keine allgemein giltigen Regeln aufstellen und sollen daher auch im Nachstehenden nur einige beiläufige Andeutungen hierüber gemacht werden. Beginnen wir mit den **Motoren.**

Die uns gegenwärtig zur Verfügung stehenden Motoren sind: Dampf-, Wasser-, Gas- und Windmotoren. Außer den übrigen Anforderungen, welche man an einen Motor auch bei anderweitiger Verwendung stellt, kommt bei Benützung zum Betriebe einer Lichtmaschine noch die Forderung hinzu, daß die Bewegung des Motors äußerst regelmäßig und von einem empfindlichen Regulator beherrscht sein muß. Von der Erfüllung dieser Bedingung hängt die Regelmäßigkeit und Gleichförmigkeit der Beleuchtung wesentlich ab. Es ist deshalb nicht immer möglich, die überschüssige Kraft eines bereits vorhandenen Motors zum Betriebe der Lichtmaschine auszunützen und daher unrichtig, wenn man im Vorhinein glaubt, der Betrieb einer Beleuchtungsanlage müsse sich billig gestalten, weil die Betriebskraft nahezu nichts kostet. Eine Fabriksmaschine, die schwere Arbeitsmaschinen treibt, bei welchen es mehr auf Kraft als auf Regelmäßigkeit der Bewegung ankommt, ist zum Betriebe einer Lichtmaschine ganz und gar ungeeignet, nicht nur, daß ihre Tourenzahl stark variirt, sie daher schon an und für sich die Lichtmaschine unregelmäßig betreiben würde, macht die Fabriksmaschine überdies noch sehr wenige Touren pro Minute,

müßte also durch eine sehr bedeutende Uebersetzung der Lichtmaschine die nöthige Tourenanzahl ertheilen, und so würde ihre Unregelmäßigkeit außerordentlich vergrößert in der Lichtmaschine zur Geltung kommen.

Welcher der angegebenen Motoren am zweckmäßigsten zur Verwendung gelangt, hängt von den verschiedensten Umständen ab. Bei sonst gleichen Verhältnissen und Anforderungen wird man, wenn Wasserkraft zur Verfügung steht, in erster Linie sich dieser bedienen und zwar am zweckmäßigsten unter Vermittlung von Turbinen, da diese sich durch ihren regelmäßigen Gang, den häufig höheren Wirkungsgrad und die geringere Gefährdung des Betriebes durch Vereisung vor den gewöhnlichen Wasserrädern (mit horizontaler Axe) auszeichnen. Erst wenn das zur Verfügung stehende Wassergefälle zu gering ist, können Wasserräder Verwendung finden. Letztere erfordern wegen ihres langsamen Ganges übrigens eine ziemlich complicirte Uebersetzung, um der Lichtmaschine die nöthige Umlaufszahl zu ertheilen.

Steht keine Wasserkraft zu Gebote, so werden, wenigstens bei großen Betrieben, immer Dampfmaschinen zur Verwendung gelangen, da sie ökonomischer arbeiten als die Gasmotoren. Letztere werden aber mit Vortheil verwendet bei kleineren Anlagen oder auch als Reservemaschinen oder anderweitig zur Ergänzung der Dampfkraft bei großen Anlagen; so können sie bei solchen z. B. zweckmäßige Verwendung finden, wenn zeitweilig nur ein ganz kleiner Theil der Gesammtanlage in Betrieb gesetzt werden soll (wie z. B. bei Theaterproben u. s. w.), oder wenn gefordert wird, daß die Beleuchtung jederzeit sofort in Thätigkeit gesetzt werden kann, was bei Anwendung von Dampfmaschinen natürlich nicht möglich ist, da in diesem Falle zuerst die Kessel angeheizt werden müssen. Ferner ist die Aufstellung von Dampfkesseln

an gewisse gesetzliche Bestimmungen gebunden, die bei jener von Gasmotoren entfallen.

Windräder sind zum Betriebe von Lichtmaschinen nicht nur der Unregelmäßigkeit dieser Betriebskraft wegen unverwendbar, sondern auch darum auszuschließen, weil deren Dimensionen im Verhältnisse zu ihren Arbeitsleistungen zu groß werden. Selbst mit einer indirecten Verwendung derselben, nämlich zum Betriebe einer Maschine, deren Ströme zum Laden der dann die eigentliche Stromquelle bildenden Secundärelemente benützt werden, hat man bislang noch keine nennenswerthen Resultate erzielt.

Die Lichtmaschinen, ihre Bestandtheile und Wirkungsweise haben wir bereits kennen gelernt und daher an dieser Stelle nur mehr Weniges hierüber nachzutragen. Es wird und ist namentlich mit Leidenschaft darüber gestritten worden, ob Wechsel- oder Gleichströme die zweckmäßigere Form seien, in welcher die elektrische Energie zur Verwendung gelangen kann. Eine unparteiische Erwägung der Vor- und Nachtheile beider Systeme ergibt Folgendes. Unter sonst gleichen Umständen erzielt man, wie aus zahlreichen Untersuchungen folgt, mit Gleichstrommaschinen im Lichtbogen einen bedeutend höheren Nutzeffect als mit Wechselstrommaschinen. Bei Gleichstrommaschinen verursacht die Selbsterregung der Elektromagnete keinerlei Schwierigkeit; die Gleichströme führen im Voltabogen zur Kraterbildung an der positiven Kohle und daher zur Concentrirung der Lichtstrahlen mehr nach einer bestimmten Richtung hin (z. B. nach abwärts), was für Beleuchtungszwecke in der Regel sehr erwünscht sein wird, während Wechselströme ein gleichförmig spitzes Abbrennen beider Kohlen und daher eine nach allen Richtungen hin ziemlich gleichförmige Lichtausstrahlung bewirken. Es ist jedoch keineswegs ausgeschlossen, daß eben dieser

Umstand in gewissen Fällen, in welchen es nicht, wie gewöhnlich, auf Bodenbeleuchtung ankommt, als Vortheil zu betrachten ist. Ein Nachtheil der Wechselströme besteht darin, daß ihre Anwendung die Mitbenützung von Secundärelementen unmöglich macht, ein Vortheil, daß sich mit ihnen der Betrieb von Transformationen viel einfacher gestaltet als mit Gleichstrommaschinen. Die von den letzteren erzeugten Ströme können auch für elektrochemische Arbeiten verwendet werden und ermöglichen in einfacher Weise die Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Kraft, während Wechselströme für Arbeiten ersterer Art gar nicht zu verwenden sind und den Betrieb von Elektromotoren erschweren.

Die höhere Spannung, welche man den Wechselströmen gewöhnlich gibt, bringt den Vortheil mit sich, daß man die Leitungen bedeutend billiger (weil schwächer) herstellen kann, was namentlich bei langen Leitungen sehr ins Gewicht fällt. Hingegen muß bei hochgespannten Strömen die Isolirung aller stromdurchflossenen Theile der Anlage, namentlich um Erdschluß zu vermeiden, eine viel sorgfältigere sein als bei Strömen geringer Spannung. Es ist daher auch die Betriebssicherheit für letztere eine größere als für erstere. Ströme hoher Spannung führen aber auch noch den Nachtheil mit sich, daß sie Gefahren für das Menschenleben darstellen.

Es wurde bereits vielfach darüber gestritten, ob gleichgerichtete oder ob Wechselströme gefährlichere physiologische Wirkungen ausüben, aber leider vermissen wir heute noch eingehende und einwurfsfreie experimentelle Untersuchungen über diese hochwichtige Frage, deren Studium namentlich von d'Arsonval, Brown, Heim, Paterson wiederholt angeregt und zum Theile bereits begonnen wurde. Man darf der Fortsetzung dieser Arbeiten nicht nur mit Rücksicht auf deren praktische, sondern auch auf die hohe

wissenschaftliche Bedeutung derselben mit großem Interesse entgegensehen, da schon die bisherigen, unfertigen Versuche manches interessante Ergebniß erzielt haben. Es wäre sehr zu wünschen, daß tüchtige Physiologen, mit hinlänglichen elektrischen Kenntnissen ausgerüstet, sich dem Studium dieser Frage widmen würden. Im Allgemeinen neigt man gegenwärtig der Ansicht zu, daß unter sonst gleichen Umständen Wechselströme gefährlicher sind als gleichgerichtete Ströme und daß die Gefährlichkeit der Ströme überhaupt mit ihrer Spannung zunimmt; die bisher vorliegenden Versuche lassen es aber nicht als unwahrscheinlich erkennen, daß auch die Stromstärke hierbei eine wesentliche Rolle spielt. Da ferner, wie ja leicht begreiflich, auch die Zeit der Einwirkung des Stromes auf den menschlichen Organismus keineswegs gleichgiltig sein kann, so ist diese gleichfalls zu berücksichtigen. Wechselströme scheinen die Muskelstarre bei viel geringeren Spannungen bereits hervorzurufen als gleichgerichtete Ströme. Die Gefahr wird hierdurch erhöht, weil dieser Umstand die betreffende Person der Möglichkeit beraubt, die gefährliche Berührung aufzuheben. Da ferner die Wirkung dieser Ströme hauptsächlich in der Hemmung der Athmung besteht, so können solche, an und für sich nicht lebensgefährliche, Wechselströme durch eine secundäre Wirkung, nämlich durch Erstickung, den Tod herbeiführen. Hieraus folgt aber anderseits, daß man Personen, welche derartige Schläge erhalten haben, zuweilen dem Tode wird entreißen können, wenn man so rasch als möglich künstliche Athmung einleitet. (Wenigstens lassen dies an Thieren ausgeführte Versuche vermuthen.)

Die Wirkung der gleichgerichteten Ströme von verhältnißmäßig geringer Spannung scheint nur dann gefährlich zu werden, wenn sie eine gewisse Zeit andauert; denn dann ist die Wirkung eine bleibende, die der Hauptsache nach in

einer Art chemischer Zersetzung oder Elektrolyse des Blutes und überhaupt der flüssigen Bestandtheile des Körpers zu bestehen scheint und nicht mehr gut gemacht werden kann. Gleichgerichtete Ströme hoher Spannung und plötzliche Stromunterbrechungen dürften ähnlich wirken wie Wechselströme.

Es wurde als ein Vorzug der Gleichstrommaschinen bezeichnet, daß diese zum Laden von Secundärelementen Verwendung finden können, als ein Vorzug der Wechselströme der einfache Betrieb mit Transformatoren (Secundärgeneratoren u. s. w.).

In einem früheren Abschnitte (III.) wurde auch bereits auf die Bedeutung beider Zwischenapparate hingewiesen; wir wollen hier nun der Frage der Verwendbarkeit beider etwas näher treten.

Secundärelemente und **Secundärgeneratoren** haben mit einander die Fähigkeit gemeinschaftlich, elektrische Energie von hoher Spannung und geringer Stromstärke in Energie von geringerer Spannung und größerer Stromstärke umwandeln zu können, eine Fähigkeit, welche, wie oben (Abschnitt III, S. 93) bereits erwähnt, Bedeutung erlangt, wenn es sich um Vertheilung der elektrischen Energie von einer Centralstelle aus auf große Entfernungen hin handelt. In diesen Fällen findet die directe Anwendung von Gleichströmen mit der gewöhnlich erforderlichen verhältnißmäßig geringen Spannung aber bedeutenderen Stromstärke in räumlicher Beziehung bald darin ihre Begrenzung, daß die Leitungen immer größere Querschnitte und daher auch Kupfermassen verlangen und dadurch die Kosten der Anlage über das zulässige Maß erhöhen. Speist man hingegen die Lampen nicht direct durch den Maschinenstrom, sondern durch transformirte Ströme, so entfallen die Kosten für die großen

Kupfermassen der Leitungen; an Stelle der dicken Kupferstangen oder Kabel treten dann verhältnißmäßig dünne Drähte, wodurch natürlich eine bedeutende Ersparniß an Kosten erzielt wird. Letztere wird namentlich dann eintreten, wenn es möglich ist, die Leitungen oberirdisch zu führen. Wie sich ein derartiger Betrieb gestalten wird, wenn man zur Anwendung unterirdischer Leitungen genöthigt ist, bei welchen die Erhaltung der Isolation wegen der hohen Spannung der Ströme schwierig wird und auch noch, falls Wechselströme benützt werden, die sehr starken Inductionswirkungen derselben auf benachbarte Telegraphen- und Telephonkabel zu vermeiden sind, muß erst die Folge lehren.

Gegenwärtig kommen bei Anlagen mit transformirenden Apparaten vorzüglich zweierlei Combinationen in Betracht, nämlich Wechselstrommaschinen mit Inductionsapparaten und Gleichstrommaschinen mit Secundärelementen. Bei der ersten Combination ist stets im Auge zu behalten, daß der Nutzeffect der Wechselstrommaschinen ein bedeutend geringerer ist als jener der Gleichstrommaschinen; bei der zweiten Combination hingegen darf nicht übersehen werden, daß die Secundärelemente bei praktischem Betriebe höchstens einen Nutzeffect von etwa 60 bis 80 Prozent geben, während sich mit guten Inductionsapparaten (Secundärgeneratoren, Transformatoren u. s. w.) ein solcher über 90 Prozent erzielen läßt.

Ein Unterschied, der für die Anwendung des einen oder des anderen Transformirungsapparates häufig ausschlaggebend sein dürfte, liegt aber darin, daß die Inductionsapparate nur dann Ströme liefern, wenn sie gleichzeitig Ströme von der Maschine erhalten, aber im selben Momente stromlos werden, als die Maschinenströme aufhören, während die Secundärelemente auch Ströme zu liefern vermögen, wenn der Maschinenbetrieb längst schon eingestellt worden

ist. Die große praktische Bedeutung der Secundärelemente liegt eben weniger darin, daß sie Ströme hoher Spannung in solche von geringer Spannung umzuwandeln vermögen, als vielmehr darin, daß sie elektrische Energie in chemische Spannkraft umsetzen, welch' letztere nach Belieben früher oder später wieder in elektrische Energie umgesetzt werden kann. Aus diesen Betrachtungen ergibt sich daher im Allgemeinen für den Fall, als die Zwischenapparate keine andere Aufgabe zu erfüllen haben, wie die Stromleitung ökonomischer zu gestalten, daß man die Vermittlung von Inductionsapparaten vorziehen wird. In der That hat sich der Betrieb einer Centrale in der Art, daß von dieser aus hochgespannte Ströme zu einzelnen Accumulatorenbatterien geleitet werden, welche dann Ströme entsprechend geringerer Spannung für die Speisung der Lampen zu liefern haben, als unökonomisch erwiesen.

Die Möglichkeit, die Ladung und Entladung der Secundärelemente zeitlich von einander zu trennen, befähigt sie jedoch zu einer Reihe von Anwendungen, welcher weder Lichtmaschinen noch Transformationen irgend welcher Art fähig sind. Zunächst bilden die Secundärelemente einen ganz ausgezeichneten Stromregulator, wenn sie gemeinschaftlich mit den Strömen der Lichtmaschinen die in denselben Stromkreis geschalteten Lampen speisen, so zwar, daß diese mit vollkommen constanter Lichtstärke ohne jede Schwankung brennen. Ueberschreitet der Strom die erforderliche Stärke, so geht der Ueberschuß in die Secundärelemente und steigert deren Ladung; sinkt er unter die erforderliche Stärke, so wird dieser Abgang durch einen entsprechenden Stromzuschuß aus der Secundärbatterie gedeckt.

Da bei Beleuchtungsanlagen der Strombedarf ganz oder größtentheils nur in den Abend- und Nachtstunden

vorhanden ist, so kann eine rein maschinelle Anlage auch nur in dieser Zeit ganz ausgenützt werden, während sie die übrige Zeit ganz oder theilweise brach liegt. Verbindet man dieselbe jedoch mit Secundärbatterien, so können die Maschinen zur Zeit, in welcher kein Strom verbraucht wird, zum Laden von Secundärelementen ausgenützt werden. Dies ermöglicht aber nicht nur den Betrieb einer bestimmten Lampenzahl mit einer kleineren, und zwar vollständig ausgenützten, daher auch ökonomischer arbeitenden Maschinenanlage, sondern hat auch noch andere Vortheile. Da der Lichtbedarf bei vielen Anlagen ein mit der Zeit sehr häufig nicht unbedeutend wechselnder ist, kann z. B. der Maschinenbetrieb eingestellt werden, sobald der Strombedarf unter jenes Maß sinkt, welches diesen Betrieb noch als ökonomisch erscheinen läßt.

Der Umstand, daß man in einem gegebenen Falle mit einer kleineren Maschinenanlage das Auskommen findet, wenn man Secundärelemente beizieht, ermöglicht auch die Durchführung der elektrischen Beleuchtung an Orten, an welchen sie Raummangels halber unter ausschließlicher Anwendung von Maschinen nicht zuwege gebracht werden könnte.

Die Anwendung von Secundärelementen wird auch da am Platze sein, wo man aus Rücksicht auf die Feuergefährlichkeit des betreffenden Objectes sich scheut, Dampf- oder Gasmaschinen aufzustellen; auch können sie an Stelle überzähliger Maschinen die häufig geforderte Reserve für die Beleuchtungsanlage bilden u. s. w.

Wenn in Obigem versucht wurde, den Werth und die Verwendungsfähigkeit der Secundärelemente und Transformatoren jeder Art anzudeuten — eine erschöpfende Darlegung aller diesbezüglichen Verhältnisse ist hier weder möglich noch beabsichtigt — so muß schließlich doch noch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die Aufstellung

sowohl des einen als auch des anderen Zwischenapparates mit ganz erheblichen Kosten verbunden ist, daß sich die dauernde Verwendung des einen wie auch des anderen in der Praxis immerhin erst noch zu bewähren hat, und daß ferner die Einschaltung eines Zwischenapparates jedwelcher Art stets mit Kraftverlust, und zwar bei den Secundärelementen in sehr nennenswerthem Betrage verbunden ist, wogegen die Transformatoren in der Regel mit Wechselstrommaschinen verbunden werden, deren Nutzeffect erheblich hinter jenem der Gleichstrommaschinen zurückbleibt.

Sehr verschiedener Natur sind die Anforderungen, welche man an die Lampen stellt. Für Außenbeleuchtung, also z. B. von Straßen, Plätzen, Höfen u. s. w. oder ferner in einer Gießerei oder einem anderen mit Rauch, Ruß und Staub erfüllten Fabrikslocale verlangt man nur eine hinreichende Erhellung des Raumes, in einer Präcisionswerkstätte hingegen nicht nur helles, sondern auch gleichförmiges und constantes Licht; in einer Buntweberei oder Druckerei ein weißes Licht, in einer photographischen Anstalt wird ein an ultravioletten Strahlen reiches Licht vortheilhaft sein, in Gemäldegallerien darf das Licht gar keine violetten Nuancen zeigen, hier wird im Gegentheile der warme Ton eines röthlichen Lichtes die günstigste Wirkung erzielen u. s. w. In Fabriken, wo nur grobe Arbeiten ausgeführt werden, wird man daher Lampen wählen, die sicher functioniren, die derbe, solide, auch die Bedienung durch eine rauhe, ungeschulte Hand vertragende Constructionen besitzen, die keine durch Rauch, Staub oder Dämpfe leicht zerstörbaren Theile aufweisen, während man sich über ein etwa nicht ganz ruhiges Brennen oder Farbenwechsel hinwegsetzen kann. In Präcisionswerkstätten, Ateliers u. s. w. muß die Lampe aber auch den früher angegebenen Bedingungen Ge-

nüge leisten; da hier geübtere Arbeiter zur Verfügung stehen und die Lampe keinen schädlichen Einflüssen ausgesetzt ist, können auch feinere Constructionen im Lampenmechanismus Verwendung finden.

Das **Bogenlicht** hat gegenüber dem **Glühlichte** den Vorzug der Billigkeit voraus, eine Thatsache, die allerdings zu Gunsten des Bogenlichtes entscheiden würde, wenn nicht noch andere Umstände in Betracht kämen, welche trotz des größeren Arbeitsaufwandes doch häufig zu Gunsten des Glühlichtes sprechen würden. Ganz abgesehen davon, daß viele Räumlichkeiten vermöge ihrer Bauart oder der darin befindlichen Objecte die Beleuchtung von wenigen Punkten aus unmöglich machen, nimmt auch die Beleuchtungsintensität einer Fläche in viel größerem Maßstabe ab, als die Entfernung von der Lichtquelle zunimmt. Daraus folgt, daß bei der Beleuchtung eines bestimmten Raumes durch eine Lichtquelle die nächste Umgebung der letzteren allerdings sehr kräftig beleuchtet wird, die Grenzen des Raumes aber unter jener Helligkeit bleiben, welche man zu erreichen wünscht; überdies ist noch die Beleuchtung des ganzen Raumes eine sehr ungleichförmige. Auch muß bei Anwendung nur weniger Lichter, soll deren Stärke entsprechend ausgenützt werden, die Aufhängehöhe eine bedeutend größere sein, als jene für viele kleinere Lichter; diese Bedingung für das Bogenlicht zu erfüllen, hindert aber häufig die Höhe des zu beleuchtenden Raumes. Es ist ferner bekannt, daß das Glühlicht eine viel ruhigere und stetigere Beleuchtung erzielt, daß es vermöge seines goldigen Glanzes einen warmen angenehmen Ton verbreitet, während das Bogenlicht infolge seines Reichthumes an stark brechbaren Strahlen (blau, violett, ultraviolett) eine kalte Beleuchtung gibt, die bei längerem Aufenthalte in solchen Räumen bei vielen

Personen sogar Unbehagen erzeugen kann. Es kann daher wohl als ziemlich allgemein giltiger Grundsatz aufgestellt werden, daß für Wohnräume, ferner auch für Innenbeleuchtungen jeder Art, sobald es sich um architektonisch irgendwie ausgestattete Räume, wie z. B. Theater, Concert- und Ballsäle, Festsäle und Sitzungsräume u. s. w. handelt, immer nur Glühlicht zur Verwendung zu gelangen hat. Es ist heutzutage um so weniger hiervon abzugehen, als man gegenwärtig bereits auch Glühlampen von mehreren hundert Kerzen Leuchtkraft herzustellen vermag und daher auch sehr großem Lichtbedarf vollkommen Genüge leisten kann. Das Glühlicht besitzt alle Vorzüge der Gasbeleuchtung, ohne deren Mängel zu theilen. Das geringe Volumen der Lampen, ihre handliche Form, der luftdichte, feuersichere Abschluß ihres Kohlenbügels und die Abwesenheit jedwedes Regulirungsapparates machen sie außerordentlich geschickt zur Anwendung unter Zuhilfenahme jedes beliebigen Beleuchtungskörpers, als Luster, Candelaber, Wandarme, Ampeln u. s. w.; außerdem gestatten sein goldiger Glanz und die vollkommene Unabhängigkeit von der Richtung der Hand eines geschickten Architekten oder begabten Künstlers Wirkungen zu erzielen, die durch andere Beleuchtungsarten in keiner Weise zu erreichen waren.

Bei Anlage von elektrischen Beleuchtungen kann man sich jedoch nicht auf solche Erwägungen allgemeiner Natur beschränken, sondern es kommen noch andere Dinge in Betracht, die nicht weniger wichtig sind. Es sind dies: die Stromregulirung, durch welche bewirkt wird, daß jede Lampe unter allen Umständen den für sie passenden Strom erhält; die Schaltungsweisen, welche die zweckentsprechendste Verbindung der Maschinen und Lampen unter einander darstellen; die Herstellung der Leitungen sammt den dazu ge-

hörigen Hilfs- und Sicherheitsvorrichtungen und endlich die Meß- und Controlapparate für die Erzeugung und den Verbrauch der elektrischen Energie.

1. Stromregulirung und Schaltungen.

Die Regulirung der Stromstärke ist für die Maschine und für die Lampen gleich wichtig. Ganz abgesehen davon, daß man mit einem unregulirten Strome ganz unökonomisch arbeiten würde, hätte ein derartiges Verfahren nur zu häufig erhebliche Schäden im Gefolge, wie dies nachstehendes Beispiel zeigen soll. Die Ströme einer elektrischen Maschine werden zur Speisung einer bestimmten Anzahl elektrischer Lampen verwendet und haben eine dieser Zahl entsprechende Stärke. Nun wird zufällig oder absichtlich eine größere Anzahl Lampen ausgelöscht, also der Widerstand des Stromkreises bedeutend vermindert. Da nun die Stromstärke in einem Schließungskreise dem Widerstande desselben proportional ist, muß infolge der Widerstandsabnahme die Stromstärke zunehmen. Dies wird dann nicht nur die Lichtstärke der noch brennenden Lampen sehr merkbar verändern, sondern kann auch durch Erhitzung der Drähte zur Zerstörung der Isolirungen in den Lampen und in der Maschine oder auch zum Zusammenschmelzen einzelner Metalltheile führen, und dadurch überdies noch Feuersgefahr hervorrufen.

Welche Mittel gibt uns also die Elektrotechnik zur Vermeidung solcher oder ähnlicher Uebelstände und Gefahren an die Hand?

Betrachten wir die Regulirung von einem ganz allgemeinen Standpunkte aus, so können wir zweierlei Methoden unterscheiden, nämlich einerseits eine Regulirung des Stromes durch den Bau der Maschine und die Strom-

führung innerhalb derselben, anderseits durch Vorrichtungen, welche zwischen der Maschine und den Lampen eingeschaltet sind. Die erste Methode, d. h. die Regulirung durch Schaltungen in der Maschine, haben wir bereits weiter oben (siehe S. 83) kennen gelernt, so daß uns hier nur mehr erübrigt, die zweite Methode zu betrachten.

Nehmen wir zunächst den einfachsten Fall an: Das Anzünden und Auslöschen der Lampen wird dadurch ausgeglichen, daß man mit der Hand künstliche Widerstände in den Stromkreis einführt oder aus demselben ausschaltet. Hierzu dienen Handwiderstände oder Hand-Rheostate verschiedener Bauart. Das Princip derselben mag durch die schematische Figur 106 erläutert werden. Die Spiralen I bis IV, aus Neusilberdraht, sind mit Metallcontacten (als schwarze Scheibchen gezeichnet) leitend verbunden, die kreisförmig angeordnet sind, so daß die um o drehbare Kurbel K der Reihe nach mit allen diesen Metallcontacten in Berührung gebracht werden kann. Es ist aus der Figur unmittelbar zu ersehen, daß der bei m eintretende Strom direct auf die Kurbel K übergehen und über o den Apparat verlassen wird, wenn die Kurbel mit m in Berührung gebracht ist, daß er aber vorher die Widerstände I, II . . . durchlaufen muß, wenn die Kurbel durch entsprechende Drehung mit dem 2., 3., . . . Metallcontacte in leitende Berührung gebracht worden ist; ruht endlich die Kurbel K auf p, so besteht zwischen m und o gar keine leitende Verbindung, d. h. der Stromkreis ist ganz unterbrochen.

Mit Hilfe eines solchen Rheostaten bewirkt man die Regulirung der Stromstärke in folgender Weise. Nehmen wir an, es werde eine bestimmte Anzahl von parallel geschalteten Lampen l_1 l_2 . . . (Fig. 107 A) durch eine Nebenschlußmaschine gespeist, so werden sich die in der Armatur A

erzeugten Ströme an den Polklemmen a und b auf den Lampenstromkreis und den Stromkreis der Elektromagnete

Fig. 106.

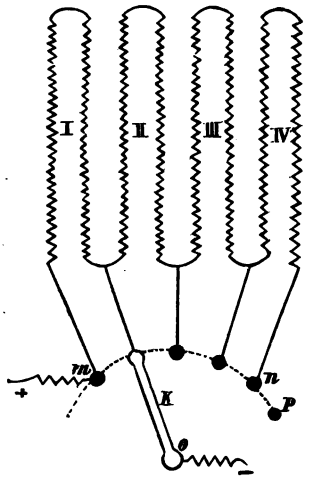


Fig. 108.

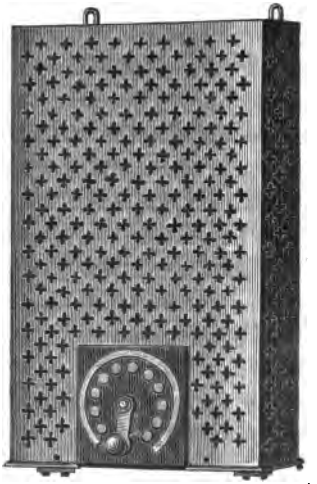
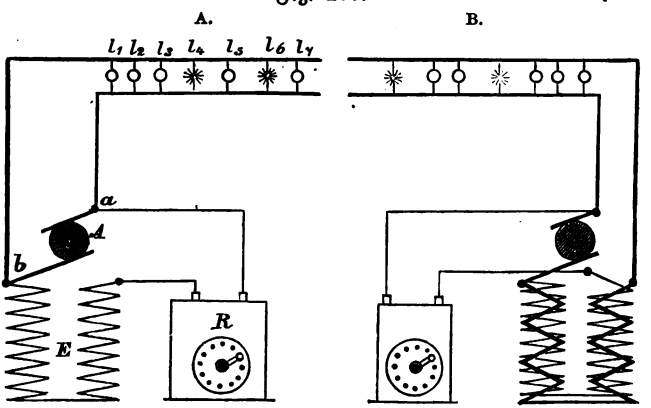


Fig. 107.



E und des Rheostaten R entsprechend den Widerständen dieser beiden Stromkreise vertheilen. Werden nun aber die Lampen l_1, l_2, l_3 ausgeschaltet, so wird hierdurch der Widerstand im Lampenstromkreise erhöht, weil jetzt die leitenden Verbindungen (d. h. die eingeschalteten Lampen) zwischen den beiden Stromhauptleitern um 3 (l_1, l_2, l_3) verringert worden sind. Es wird daher zunächst die Stromstärke im Lampenstromkreise abnehmen, im Elektromagnetstromkreise aber zunehmen, weil ja der Widerstand dieses Stromkreises unverändert geblieben ist. Hieraus folgt aber eine Verstärkung der Elektromagnete und daher auch der durch diese in der Armatur A erzeugten Inductionsströme. Um dieses unnütze, eventuell auch schädliche Anwachsen des Stromes bei Ausschaltung von Lampen zu verhindern, schaltet man nun durch den Rheostaten einen hinlänglich großen Widerstand in den Elektromagnetstromkreis ein, so daß dessen Gesammtwiderstand groß genug wird, um die Stromstärke in den Drahtwindungen der Elektromagnete auf jenes Maß herabzudrücken, welches der durch den verringerten Strombedarf bedingten verringerten magnetischen und daher auch inducirenden Kraft der Elektromagnete entspricht. (Fig. 107 B zeigt die Einschaltung eines Widerstandes bei Anwendung einer Compound-Maschine.)

Was nun die technische Ausführung solcher Rheostate anbelangt, so kann diese natürlich eine verschiedene sein. Man setzt solche, wie bereits erwähnt, z. B. aus Neusilberdrahtspiralen zusammen, man bildet sie aber auch aus Kohlenstäben, Kohlenscheiben, verschieden geformten Blech- oder Drahtnetzbändern u. s. w.

So bestehen z. B. diese Rheostate oder Regulirwiderstände der Firma Siemens & Halske je nach dem Verhältnisse der von ihnen verlangten Widerstandswirkung aus

einem mehr oder minder langen Bande von Drahtgewebe aus Eisen- oder Messingdraht, welches auf einem Rahmen über Zapfen vielfach zickzackförmig hin- und hergezogen ist. Diese Vorrichtung ist mit einem gitterartig durchbrochenen eisernen Gehäuse bedeckt (Fig. 108), durch welches die Luft hindurchziehen kann, um den durch Umsetzung des elektrischen Stromes in Wärme sich oft ziemlich stark erhitzenden Apparat entsprechend abzukühlen. Derselbe ist mit Rücksicht auf diese Erhitzung vollständig feuersicher construirt. Die Einschaltung größerer oder geringerer Widerstände (Drahtbandlängen) erfolgt durch Drehung der in der Figur unten sichtbaren Kurbel und Einstellung derselben auf einen der im Kreise angebrachten entsprechenden Metallcontacte.

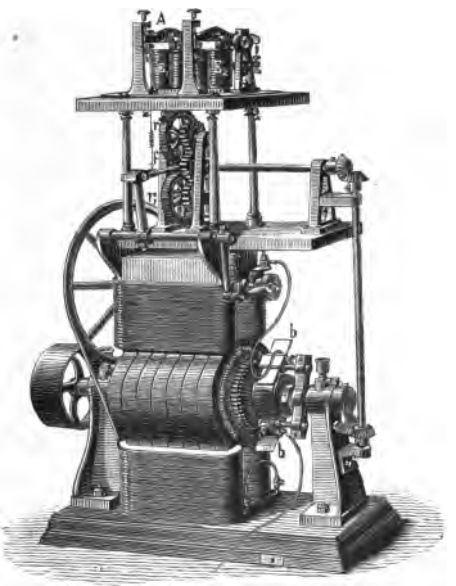
Die Regulirung der Stromstärke, entsprechend den jeweiligen Anforderungen, kann aber auch selbstthätig bewerkstelligt werden und sind derartige automatische oder selbstthätige Regulatoren bereits in größerer Anzahl und auf verschiedenen Principien beruhend gebaut worden. Man benützt z. B. Elektromagnete oder Solenoide mit Eisenkernen, welche die Ein- und Ausschaltung von Widerständen im Stromkreise der Elektromagnete oder auch im Lampenstromkreise besorgen, welche die Bürsten auf dem Stromsammler der Maschine zwischen ihren beiden Grenzstellungen (für das Maximum und Minimum der Stromableitung) hin- und herdrehen, welche direct auf den Motor, z. B. die Dampfmaschine einwirken, indem sie mit dem Regulator oder dem Drosselventil derselben entsprechend verbunden sind; auch ein von der Lichtmaschine in Bewegung gesetzter Centrifugal-Regulator ist benützt worden, um an Stelle der Elektromagnete die Einschaltung von Widerständen zu besorgen u. s. w. Hiervon mögen nachstehend einige Beispiele angeführt werden.

Maxim regulirt die Stromstärke der Lichtmaschine, indem er den Strom der kleinen Hilfsmaschine, welche die Elektromagnete zu erregen hat, verändert, und diese Veränderungen in der Stromstärke der Erregermaschine bewirkt er durch Verstellung der Bürsten auf dem Stromsammler der letzteren.

Fig. 109 zeigt die praktische Ausführung dieser Idee. Ein auf der Erregermaschine angebrachter Elektromagnet E_1 von großem Widerstande ist in den Hauptstromkreis (Lampenkreis) geschaltet und zieht mit einer Kraft, welche sich nach der Stärke des Stromes richtet, den Anker A an; an diesem ist ein Sperrkegel f mit zwei einander entgegengesetzt (nach oben und unten) gerichteten Zähnen aufgehängt, welcher von der Axe der Maschine durch eine Transmission eine hin- und hergehende Bewegung erhält. Dieser Sperrkegel bewegt sich zwischen zwei Zahnrädern r und r_1, ohne diese zu berühren, so lange der Strom, welcher durch die Magnetwindungen geht, seine normale Stärke besitzt. Wird der Strom geschwächt (z. B. durch das Anzünden neuer Lampen), so hebt sich der Anker, da er vom Elektromagnete nicht mehr so stark angezogen, sondern vielmehr durch eine entgegenwirkende Kraft (z. B. eine Feder) sogar abgezogen wird; mit ihm geht auch der Sperrkegel aufwärts, der jetzt mit seinem oberen Zahne in die Zähne des Rades r eingreift und dieses bei je einem Hin- und Hergange um einen Zahn weiterdreht. Durch einige Zwischenräder wird diese Drehung auf die Bürsten b b übertragen, wodurch diese ihre bisherige Stellung verlassen, sich ihrer günstigsten Lage mehr oder weniger nähern und so den Strom verstärken. Die entgegengesetzte Bewegung und daher auch Wirkung tritt ein, wenn der Strom (durch das Auslöschen mehrerer Lampen) zu stark geworden ist.

Der zweite Elektromagnet E_2 spielt die Rolle eines Sicherheitsventils. Die Spannung der Feder oder sonstigen Hemmung, welche der Anziehung des Ankers durch diesen Magnet entgegenwirkt, ist so regulirt, daß sie nur durch

Fig. 109.



ein außergewöhnliches Anwachsen des Stromes im Elektromagnete überwunden wird. In diesem Falle gelangt die Verlängerung des Ankers an einen Platincontact, wodurch die Elektromagnetwindungen der Hauptmaschine ausgeschaltet werden und dadurch die Stromerregung unterbrechen, so daß eine Beschädigung der Lampen unmöglich ist. Die Unterbrechung in der Stromerzeugung dauert jedoch nur

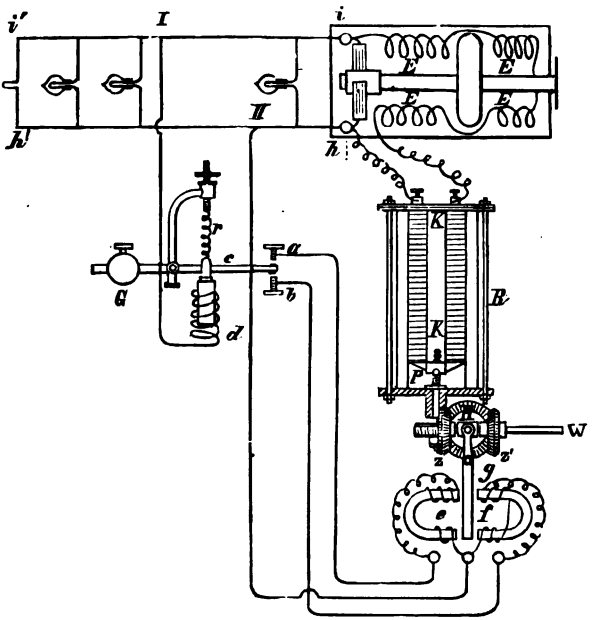
einen Moment, weil eben durch die Unterbrechung auch der Elektromagnet E_2 seine Kraft sofort verlieren und daher den Anker wieder loslassen muß. Hierdurch ist die normale Verbindung beider Maschinen wieder hergestellt und die Stromerregung nimmt ihren normalen, durch die Wirkung des Magnetes E_1 regulirten Verlauf. Da der Elektromagnet E_2 nur vorübergehend in die Regulirung eingreift und die Elektromagnete der Hauptmaschine nicht momentan ihre ganze Kraft verlieren, werden die Lampen infolge der Wirkung des Elektromagnetes E_2 nicht ganz auslöschen, sondern nur bedeutend dunkler brennen. Der Elektromagnet E_2 gibt durch sein Eingreifen nur gewissermaßen dem Elektromagnete E_1 Zeit, seine Einwirkung geltend zu machen, wenn durch plötzliche bedeutende Widerstandsänderungen im Lampenstromkreise eine rasche und bedeutende Aenderung der Stromstärke erfordert wird, welche der eigentliche Regulirungsmechanismus mit seinen Zahnrädern und Uebertragungen nicht so rasch ausführen kann, um die im Betriebe befindlichen Lampen vor Beschädigung zu bewahren.

Die Wirkungsweise des **Brush-Regulators** erkennen wir am besten aus der schematischen Darstellung Fig. 110.

Von den Polklemmen i und h der Maschine gehen einerseits die Leitungen des Hauptstromkreises i' und h' aus, anderseits sind daran im Nebenschlusse die Drahtwindungen der Elektromagnete E und der Kohlenscheiben-Rheostat R angeschlossen. Bei I und II ist mit dem Haupt- (Lampen-) Stromkreise eine Zweigleitung verbunden, welche den Elektromagnet d enthält, dessen Eisenkern von dem zweiarmigen Hebel c getragen wird; der Anziehung wirken ein verstellbares Laufgewicht G und die Feder r entgegen. Das vom Laufgewichte abgewandte (rechte) Hebelende schwebt zwischen den beiden Contactstiften a und b. Berührt der Hebel den

Contactstift a, so ist der Elektromagnet e in den Zweigstromkreis eingeschaltet, berührt er den Stift b, so werden die Windungen des Elektromagnetes f von diesem Zweigstrome durchflossen. Je nachdem der erste oder zweite Fall

Fig. 110.



eintritt, zieht der Magnet e oder f den Anker g an, der sich dementsprechend nach links oder rechts drehen muß. Oberhalb des Ankers g sind auf der Welle W zwei Zahnräder z z' aufgekeilt, die beständig in Rotation erhalten werden. Zwischen diesen ist das Zahnrad H befestigt. Dieses wird mit dem Zahnrade z oder z' zum Eingriffe gebracht,

wenn sich der Anker g aus seiner Mittellage nach links oder rechts bewegt. Der Anker g ist nämlich über seinen Drehpunkt hinaus verlängert und diese Verlängerung bewirkt durch Ineinanderschiebung ausgezackter Metallstücke (d. h. durch eine Klauenkuppelung) die Verbindung des Rades H mit z oder z'. Das Rad H wirkt schließlich auf die Platte P, diese abwärts oder aufwärts schiebend und veranlaßt hierdurch einen besseren oder schlechteren Contact zwischen den einzelnen Kohlenscheiben K des Rheostaten, wodurch der Widerstand desselben vermindert oder erhöht wird.

Uebersteigt also der Strom im Lampenkreise die verlangte Stärke, so überwindet die Anziehungskraft des Magnetes d die Kraft der Feder r und des Gewichtes G, die rechte Seite des Hebels c muß sinken, mit b in Contact kommen und den Elektromagnet f einschalten. Der Anker f dreht sich nach rechts, seine oberhalb des Drehpunktes befindliche Verlängerung nach links und kuppelt das Zahnrad z mit H. Hierdurch wird diesem eine Drehung ertheilt, welche die Platte P senkt und dadurch die Berührung zwischen den Kohlenplatten K K lockert, also den Widerstand des Rheostaten vergrößert. Da dieser mit den Elektromagneten E E der Maschine in einem und demselben Stromkreise liegt, muß der um die Elektromagnete fließende Strom und infolge dessen auch der Strom der Maschine selbst geschwächt werden.

Ist umgekehrt die Stromstärke eine zu geringe geworden, so wird der Hebel c durch die Feder r und das Gegengewicht G gehoben, der Contact bei a hergestellt, hierdurch der Elektromagnet e activirt und H zur Drehung nach entgegengesetzter Richtung veranlaßt. Die Platte P wird gehoben, preßt die Kohlenscheiben aneinander und vermindert so den Widerstand des Rheostaten; dies hat dann

natürlich ein Wachsen der Stromstärke zur Folge. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß bei normaler Function der Anlage, d. h. bei richtiger Stromstärke der Hebel c mitten zwischen a und b und der Anker g mitten zwischen e und f schweben und daher das Rad H in Ruhe bleibt.

Edison's automatischer Regulator besteht aus einer Art Relais C (Fig. 111), welches in eine Zweigleitung zum Arbeitsstromkreise eingeschaltet ist und den Elektromagneten A und B, deren Anker an den Enden eines Wagbalkens befestigt wird. Der Ankerhebel des Elektromagnetes C bewegt sich zwischen den beiden Contacten J und K und schaltet durch Berührung des einen oder anderen Contactes den Elektromagnet A oder B in den Stromkreis ein. Der Wagbalken, welcher die Anker dieser Magnete trägt, besitzt eine nach abwärts gerichtete Zunge E, deren Schleiffeder R über eine Reihe von Contactstreifen schleifen kann, welche der Reihe nach mit immer größeren Widerständen in Verbindung stehen.

Die Wirkung des Apparates ist hiernach leicht einzusehen. Hat der Arbeitsstrom seine normale Stärke, so befindet sich der Ankerhebel des Magnetes C in der Mitte zwischen beiden Contactstiften, ohne den einen oder den anderen zu berühren; die Magnete A und B bleiben stromlos. Sinkt jedoch der Strom unter die gewünschte Stärke oder steigt über dieselbe, so wird der Ankerhebel vom Elektromagnete C abgezogen und schließt den Contact K oder wird umgekehrt vom Magnete C kräftiger angezogen und schließt den Contact J. In dem einen wie im anderen Falle wird hierdurch einer der Magnete A oder B mit seinen Drahtwindungen in den Stromkreis eingeschaltet und dadurch der Wagbalken in der einen oder andern Richtung gedreht. Die Feder R muß dann immer größere Widerstände in den

Stromkreis der erregenden Elektromagnete der Maschine einschalten oder umgekehrt immer mehr Widerstände ausschalten, bis wieder die normale Stromstärke hergestellt ist.

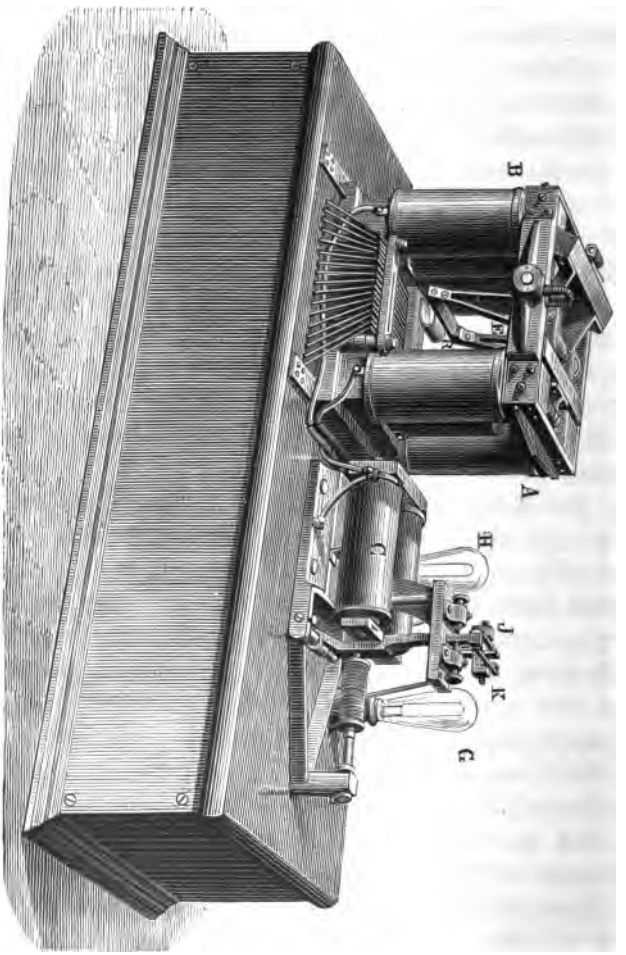


Fig. 111.

Um die Bewegung der Schleiffeder R in der einen oder andern Richtung deutlich sichtbar zu machen, sind noch die beiden Lampen G und H am Apparate angebracht, deren eine blaues, deren andere rothes Glas besitzt. Der Ankerhebel des Magnetes C bewirkt dann gleichzeitig mit der Herstellung des einen oder andern Contactes auch die Einschaltung der rothen oder blauen Lampe in den Stromkreis.

Nach dem Ohm'schen Gesetze ist die elektromotorische Kraft E gleich dem Producte aus dem Widerstande W und der Stromstärke S, also

$$E = W.S$$

oder Volt = Ampère × Ohm.

Soll also in einem bestimmten Stromkreise die Spannung constant erhalten bleiben, gleichgiltig ob Lampen ein- oder ausgeschaltet werden, so kann man dies nach obigen Gleichungen erreichen, indem man dafür Sorge trägt, daß in diesem Stromkreise der Widerstand im selben Maße abnimmt als die Stromstärke zunimmt und umgekehrt. Auf diesem Principe fußend, hat nun Lahmeyer in der That seinen Fernspannungs-Regulator construirt.

Eine geschlossene Röhre R (Fig. 112) aus isolirendem Materiale ist halb mit Quecksilber gefüllt, in welchem der Eisenkern E schwimmt. Den unteren Theil der Röhre umgeben einige Windungen S starken Drahtes, der bei I mit dem Lampenstromkreise verbunden ist, während das andere Ende durch den Boden der Röhre in das Quecksilber hineinragt. Bei II befindet sich die zweite Anschlußstelle des Apparates an den Lampenstromkreis; zwischen dieser und den seitlich in die Röhre eingeführten Drähten sind die Widerstände $w_0 - w_{100}$ parallel zu einander eingeschaltet. In Fig. 113 sind die Widerstände w_1 w_2 w_3 hintereinander geschaltet.

Da, wie aus Fig. 112 leicht zu ersehen, der Zunahme der Stromstärke ein Sinken des Eisenkernes, der Abnahme der Stromstärke ein Steigen des Eisenkernes entspricht, so wird auch mit der zunehmenden Stromstärke das Quecksilber im Rohre steigen, mit der abnehmenden Stromstärke fallen müssen. Da nun aber durch das Steigen des Queck-

Fig. 112.

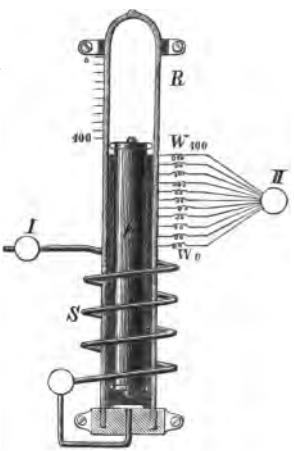
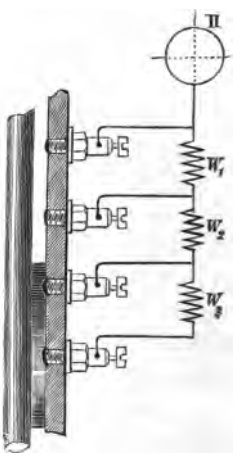


Fig. 113.



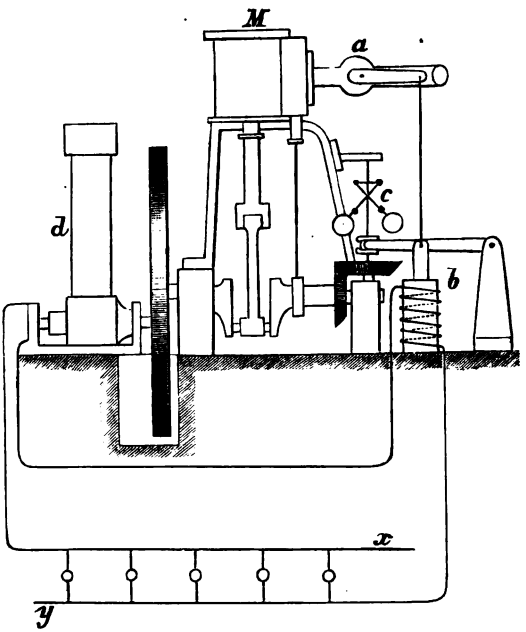
silbers eine immer größer werdende Anzahl der parallel zu einander geschalteten Drähte w_0—w_{100} mit dem Quecksilber Contact kommt, so muß durch diese Vermehrung der an der Stromleitung theilnehmenden parallelen Zweige der Gesammtwiderstand offenbar verringert werden. Sinkt jedoch die Stromstärke, so steigt der Eisenkern und es fällt das Quecksilber; es bleiben dann für den Uebergang des Stromes vom Quecksilber nach II immer weniger Zweige zur Verfügung, der Widerstand muß also zunehmen.

Wie hiermit gezeigt, entspricht also stets der Zunahme der Stromstärke eine Abnahme des Widerstandes und einer Abnahme der Stromstärke eine Zunahme des Widerstandes, d. h. der Regulator erfüllt thatsächlich die oben gestellten Bedingungen. Daß dies auch bei der in Figur 113 dargestellten Schaltung der Widerstände hintereinander der Fall ist, lehrt eine kurze Ueberlegung. Zu bemerken ist noch, daß eine am oberen Theile der Röhre angebrachte Scala die jeweilige Stromstärke zu erkennen gestattet.

Schließlich möge noch ein Regulator skizzirt werden, welcher die Stromstärke durch directe Einwirkung auf den die Lichtmaschine treibenden Motor regulirt. Angegeben wurde derselbe von Menges. Der Kürze halber soll bei dessen Beschreibung ein bestimmter Fall, nämlich der Betrieb einer Glühlichtanlage mit einer Nebenschlußmaschine vorausgesetzt werden. Bei einer derartigen Anlage verlangt man bekanntlich, daß jede der in die Leitungen b y und d x (Fig. 114) eingeschalteten Lampen den für sie passenden Strom erhält, unabhängig von der Anzahl der in ihrem Stromkreise gleichzeitig brennenden Lampen; es muß also die Spannungsdifferenz zwischen b y und d x constant erhalten werden. Schaltet man zwischen diesen beiden Hauptleitern neue Lampen ein, so muß der Strom im Lampenstromkreise zunehmen, weil durch die neu eingeschalteten Lampen die Zahl der Verbindungen zwischen beiden Hauptleitern vermehrt, d. h. also der Uebergangswiderstand des Stromes von b y auf d x verringert worden ist. Statt nun die hierdurch bewirkte Stromabnahme in einem Nebenschlusse zum Lampenstromkreise zur Bethätigung eines dort eingeschalteten Regulators zu benützen, läßt M e n g e s die Schwankungen des Stromes im Lampenstromkreise selbst auf einen in diesem eingeschalteten Regulator wirken, der

aus einem Solenoide (bei b) mit Eisenkern besteht, welcher unmittelbar mit dem Drosselventil a des Motors M verbunden ist. Wird nun die auf den Kern wirkende Anziehung so balancirt (durch Feder, Gegengewicht, Flüssigkeitsauftrieb

Fig. 114.



u. s. w.), daß der Kern sich bei verschiedener Stromstärke verschieden einstellt, dann wird das Einschalten der Lampen in x y sogleich auch eine bestimmte Bewegung des Kernes bei b bewirken; es ist daher geradeso, als ob jeder Lampeneinschalter mit der Drosselklappe verbunden wäre. Sind die Größenverhältnisse der einzelnen Theile, Solenoid, Kern

u. s. w., richtig bestimmt, so kann man es so einrichten, daß die Drosselklappe je nach der Anzahl der eingeschalteten Lampen so eingestellt wird, daß der Dampfzufluß, also die Geschwindigkeit der Dampfmaschine und also auch der Lichtmaschine stets jene Größe besitzt, die erforderlich ist, um die normale Spannungsdifferenz zwischen den beiden Hauptleitungen zu erhalten.

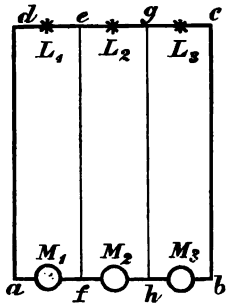
Die bisher besprochene Einrichtung veranlaßt nur die Regulirung für Veränderungen im elektrischen Betriebe, nicht aber die Regulirung, welche die Schwankungen in der Triebkraft des Motors erfordern. Um auch diese zu ermöglichen, verbindet Menges einfach beide Regulirungen mit einander, wie dies die Figur erkennen läßt. Wählt man dabei die Lage des Kernes in dem Solenoide so, daß die Anziehung bei einer kleinen Verschiebung nur wenig geändert wird, dann wirken die Anziehung und das Gewicht des Kernes wie ein Belastungsgewicht des Centrifugalregulators c, wodurch dessen Wirkung bekanntlich nicht beeinträchtigt wird.

Wenden wir nunmehr den Schaltungen, d. h. der allgemeinen Anordnung der Leitungen unsere Aufmerksamkeit zu; hierbei soll nicht nur die Verbindung der Maschinen mit den Lampen, sondern ebensowohl die Verbindung der ersteren als auch der letzteren unter einander, also die **Schaltung der Maschinen und Lampen** in Betracht gezogen werden.

Maschinen und Lampen, beide können sowohl parallel als auch hintereinander geschaltet werden; welche Schaltungen man für die einen als auch für die anderen zu wählen hat, ergibt sich aus den speciellen Verhältnissen der einzelnen Beleuchtungsanlagen. Hat man z. B. mit drei Lichtmaschinen eine bestimmte Anzahl von Bogenlampen zu betreiben, so

wird es sich in vielen Fällen als zweckmäßiger herausstellen, alle drei Maschinen mit allen Lampen in einen Stromkreis zu vereinigen, als für jede der Maschinen einen eigenen Stromkreis anzuordnen. Man verbindet also die Maschinen $M_1\ M_2\ M_3$ (Fig. 115 unter einander und durch die Leitungen a d und b c mit den gleichfalls hintereinander verbundenen Bogenlampen $L_1\ L_2\ L_3$. Für eine derartige Hintereinanderschaltung der Lampen und Maschinen spricht allerdings der Umstand, daß dies die einfachste und daher auch billigste Herstellung der Leitung ist. Doch gestaltet sich dann aber die Sicherheit des Betriebes geringer als bei den anderen Schaltungsweisen, denn bei der eben besprochenen Schaltung genügt eine Beschädigung an irgend einer Stelle des Stromkreises, um sofort den Betrieb der ganzen Anlage unmöglich zu machen. Dieser Uebelstand kann jedoch unter Beibehaltung der angegebenen Schaltungsweise zum größten Theile beseitigt werden, wenn man an entsprechenden Stellen Hilfsleitungen anbringt, in Fig. 115 z. B. bei e f und g h. Hierdurch erlangen dann die Lampen oder Lampenserien bei $_1 L_2 L_3$ eine gewisse Unabhängigkeit von einander, so daß wenn eine derselben versagt oder außer Betrieb gesetzt wird, die anderen nicht ins Mitleid gezogen werden. Bei normalem Betriebe werden die elektrischen Ströme zwar auch dann nur in der Leitung a b c d a fließen, während die Hilfsleitungen e f und g h stromlos bleiben, aber diese werden sofort ihre passive Rolle aufgeben, wenn an irgend einer Stelle irgend eine Störung eintritt. Würde z. B. in L_1 oder überhaupt an irgend einer Stelle des Stromkreises von L_1.

Fig. 115.



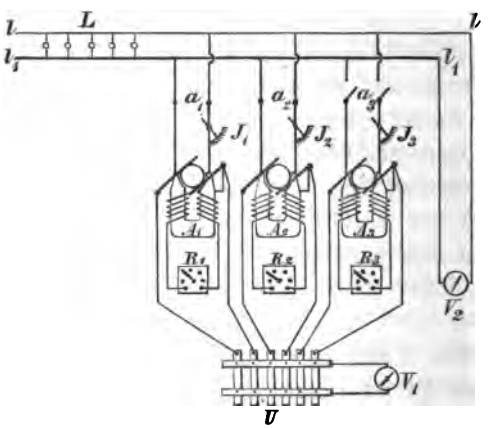
an über d a bis M_1 eine solche Störung eintreten, so daß also die Ströme ganz oder zum Theile verhindert werden, die Leitungstheile d e, d a und a f zu durchfließen, so bietet sich nunmehr in dem Hilfsdrahte e f eine Ersatzleitung dar, welche beim etwaigen Erlöschen der Lampe oder Lampenserie in L_1 die Lampen bei L_2 L_3 u. s. w. vor dem Auslöschen bewahrt.

Will man Lichtmaschinen parallel schalten, so müssen alle mit gleicher Spannung arbeiten, denn würde eine Maschine z. B. mit bedeutend höherer Spannung arbeiten als die übrigen, so würde sie sich wie eine kurz geschlossene Maschine verhalten, bei sehr niedriger Spannung hingegen würde ein starker Strom in die Maschine fließen. Hat man es mit Compound-Maschinen zu thun, welche thatsächlich gleiche Spannung halten, so gestaltet sich das Ein- und Ausschalten der parallel geschalteten Maschinen ganz einfach, indem man nämlich eine weitere Maschine unmittelbar einschaltet, sobald sie die richtige Tourenzahl und Spannung erreicht hat.

Handelt es sich aber nicht um Compound-Maschinen, so hat man die einzuschaltende Maschine zuerst mit Hilfe eines Nebenschluß-Rheostaten auf die Spannung der bereits arbeitenden Maschinen zu bringen; wird die einzuschaltende Maschine durch einen eigenen Motor angetrieben, so kann dies auch durch Regulirung des letzteren erreicht werden. So bedient sich z. B. die Firma Siemens & Halske, um einen speciellen Fall anzuführen, der erstenwähnten Methode. In Fig. 116 ist die Parallelschaltung der drei Gleichstrommaschinen A_1 A_2 A_3 zum Betriebe der zwischen l und l_1 parallel geschalteten Glühlampen skizzirt. Hierbei sind mit R_1 R_2 R_3 Nebenschluß-Rheostate, mit V_1 V_2 Spannungsmesser, mit J_1 J_2 J_3 Stromstärkemesser, mit a_1 a_2 a_3

Ausschalter und mit U ein General-Umschalter bezeichnet. Die verticalen Lamellen des letzteren sind mit den Polklemmen der Maschinen, die horizontalen Lamellen mit dem Spannungsmesser V_1 verbunden, so daß also durch passende Stöpselung des General-Umschalters die Spannung an den Polklemmen jeder Maschine durch den Spannungsmesser V_1 gemessen werden kann.

Fig. 116.



Soll demnach die Maschine A_3 zu den im Betriebe befindlichen Maschinen geschaltet werden, so bringt man sie zunächst auf die nöthige Tourenzahl. Dann schaltet man mit Hilfe des Nebenschluß-Rheostaten R_3 so viel Widerstand ein, bis der mit der Maschine A_3 durch den Umschalter U verbundene Spannungsmesser V_1 dieselbe Spannung anzeigt, wie der mit der Lampenleitung ll_1 verbundene Spannungsmesser V_2. Jetzt stellt man die Verbindung der Maschine A_3 mit der Leitung ll_1 durch Schließen des Ausschalters a_3

her. Die derart eingeschaltete Maschine liefert aber weder einen Strom in die Leitung, noch empfängt sie einen aus derselben — sie lauft leer. Sie wird erst dann in der gewünschten Weise beansprucht werden, wenn sie durch Ausschalten vom Widerstand in R_3 auf die entsprechende Stromstärke gebracht ist; man ersieht dies aus den Anzeigen des Stromstärkemessers J_3.

Soll eine der parallel geschalteten Maschinen ausgeschaltet werden, so ist natürlich der umgekehrte Gang einzuhalten, d. h. die Maschine muß zuerst durch Einschalten von Widerstand stromlos gemacht werden, und dann erst hebt man ihre Verbindung mit der Lampenleitung auf.

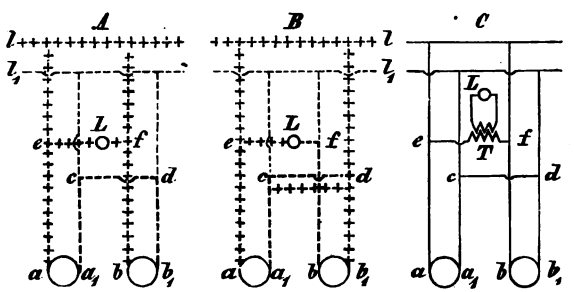
Was bisher bezüglich der Schaltung mehrerer Maschinen in einem Stromkreise gesagt wurde, bezieht sich auf Gleichstrommaschinen. Wechselstrommaschinen werden nur parallel geschaltet, da, wie Hopkinson nachgewiesen hat, hintereinander geschaltete Maschinen dieser Art das Bestreben zeigen, entgegengesetzte Phasen anzunehmen und ihre Ströme zu vernichten. Die Wechselstrommaschinen liefern, wie wir bereits wissen, in rascher Aufeinanderfolge abwechselnd Ströme oder Stromimpulse der einen und der entgegengesetzten Richtung und somit wechseln auch fortwährend die Vorzeichen für die Polklemmen dieser Maschinen. Will man daher solche Maschinen parallel schalten, so muß man offenbar zunächst ein Mittel haben, welches zu erkennen erlaubt: 1. ob die zu verbindenden Maschinen überhaupt gleich große Phasen, d. h. gleich viele Stromwechsel in der Zeiteinheit besitzen, und 2. ob sie gleiche oder entgegengesetzte Phasen aufweisen. Der erste Punkt stellt, wie wohl leicht einzusehen, eine Bedingung dar, welche erfüllt werden muß, wenn zwei oder mehrere Wechselstrommaschinen in einem Stromkreise nebeneinander arbeiten sollen. Der zweite Punkt

stellt keine Forderung an die von den betreffenden Maschinen zu leistenden Arbeiten dar, sondern verlangt nur die Anzeige, welche Polklemmen der Maschinen im gegebenen Momente positive, und welche negative sind.

Besitzen zwei Wechselstrommaschinen annähernd gleiche Phasen, so werden ihre Stromwechsel offenbar in gewissen Zwischenräumen auf denselben Zeitpunkt zusammenfallen müssen. Hierbei sind zweierlei Möglichkeiten denkbar: der gleichzeitige Stromwechsel kann bei beiden Maschinen im selben oder im entgegengesetzten Sinne stattfinden. Diesem Umstande muß nun bei der Parallelschaltung mehrerer Maschinen auch Rechnung getragen werden. In Fig. 117 stellen $a a_1$ und $b b_1$ die Wechselstrommaschinen dar, welche parallel geschaltet werden sollen, um die in der gemeinschaftlichen Leitung $l l_1$ befindlichen Lampen zu speisen. Um nun hierbei die Gleichzeitigkeit und Gleichartigkeit der Phasen beider Maschinen erkennen zu können, stellen wir nach dem von der Firma Ganz u. Co. eingehaltenen Vorgange die Verbindungen c d und e f her und schalten in eine dieser Verbindungen, z. B. in e f, irgend eine stromanzeigende Vorrichtung, etwa die Lampe L, ein. Betrachtet man die Figur, in welcher wir der besseren Uebersicht wegen die im gegebenen Momente positiven Leitungen durch ++++, die negativen durch ---- dargestellt haben, so sind die beiden erwähnten Arten der Phasen und ebenso deren Eigenthümlichkeiten in A und B unschwer zu erkennen. Findet der gleichzeitige Stromwechsel bei beiden Maschinen im selben Sinne statt (Fig. 117 A), so müssen in diesem Momente (gleiche Stromstärken der Maschinen vorausgesetzt) die Verbindungsleitungen e f und c d stromlos werden, da e f einerseits mit der +-Leitung a e, anderseits mit der gleichfalls +-Leitung e f in Verbindung steht, und durch

c d die augenblicklich negativen Polklemmen beider Maschinen vereinigt, d. h. also die Lampe L erlöscht. Treten die gleichzeitigen Stromwechsel hingegen in beiden Maschinen im entgegengesetzten Sinne ein (Fig. 117 B), so wird die Lampe L hell aufleuchten, und zwar so hell, als der doppelten elektromotorischen Kraft einer Maschine entspricht, denn in diesem Falle erscheinen die beiden Maschinen für den gegebenen Moment durch die beiden Hilfsleitungen c d und e f hintereinander geschaltet.

Fig. 117.



Die in c f eingeschaltete Lampe L zeigt also in der That nicht nur die Zeiten an, zu welchen in beiden Maschinen gleichzeitig Stromwechsel erfolgen, sondern sie gibt für diese gleichzeitigen Stromwechsel auch die Polarität an den Polklemmen beider Maschinen an. Hiernach hat man also die Maschinen in folgender Weise einzuschalten: Benützt man jenen Moment, in welchem die Lampe L erlöscht (Fig. 117 A), so sind die Polklemmen a und b mit der Leitung l, die Klemmen a_1 b_1 mit der Leitung l_1 zu verbinden. Soll hingegen das hellste Aufleuchten der Lampe L benützt werden (Fig. 117 B), so sind die Klemmen a b_1 mit l

und $a_1 b$ mit l_1 zu verbinden; hierbei hat man aber dafür Sorge zu tragen, daß gleichzeitig in die Hilfsleitung c d ein hinlänglich großer Widerstand eingeschaltet oder diese Leitung ganz unterbrochen wird, weil sonst die beiden Maschinen, wie aus der Figur zu ersehen, im kurzen Schlusse hintereinander verbunden erscheinen.

Mit Zugrundelegung obiger Betrachtungen kann die Parallelschaltung der Wechselstrommaschinen natürlich auf verschiedene Weise praktisch durchgeführt werden. Es würde zu weit führen, hier auf die verschiedenen Anordnungen, deren sich die Firma Ganz u. Co. den gegebenen Verhältnissen entsprechend, bedient, näher einzugehen. Erwähnt möge nur noch werden, daß bei Maschinen für Wechselströme mit sehr hoher Spannung der Anzeigeapparat oder sogenannte Phasen-Indicator L nicht direct, sondern unter Vermittlung eines kleinen Transformators T (Fig. 117 C) eingeschaltet wird, so daß also nicht der hochgespannte Maschinenstrom, sondern ein auf niedrigere Spannung gebrachter Strom in der Lampe oder dem Meßinstrumente L zur Verwendung gelangt.

Ebenso wie die Maschinen, können auch die **Lampen** durch die Leitungen sowohl in paralleler als auch in Serienschaltung oder Schaltung auf Spannung mit einander in einen Stromkreis vereinigt werden. In welcher Weise die Hintereinanderschaltung mehrerer Bogenlampen in einen Stromkreis ermöglicht wurde, zeigen die Figuren 6 und 89 (Seite 15 und 145) und der dazu gehörige Text; in Fig. 115 ist ferner eine Schaltung skizzirt, welche größere Betriebssicherheit gewährt. Die für Bogenlichter verhältnißmäßig seltener benützte Parallelschaltung stellen z. B. die Figuren 102 und 103 dar; Glühlichter sind in den Figuren 110, 114 und 116 parallel geschaltet, und Fig. 107

endlich gemeinschaftlich parallel geschaltete Bogen- und Glühlichter.

Die einfachste Art Glühlichter mit einer Lichtmaschine in einen Stromkreis zu vereinigen, ist die Parallelschaltung, wie sie z. B. Fig. 118 A darstellt. Diese Anordnung wird auch immer zu empfehlen sein, wenn es sich um verhältnißmäßig kleine Beleuchtungsanlagen handelt. Gewinnt jedoch die Anlage an Ausdehnung, so wird es nicht mehr möglich sein, durch diese einfache Anordnung den Strom auf sämmtliche Lampen, ohne Rücksicht auf ihre Entfernung von den Polklemmen der Maschine, gleichmäßig zu vertheilen; die Lampen werden desto weniger hell leuchten, je weiter sie von der Stromquelle entfernt sind. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, müssen die Leitungen derart geführt werden, daß die Stromwege für alle Lampen so viel als möglich gleichwerthige sind. Zwei Schaltungen, die dies ermöglichen, sind in Fig. 118 B und C dargestellt und bedürfen wohl keiner näheren Erklärung.

Da man gegenwärtig Glühlampen mit den verschiedensten Widerständen, und also auch für die verschiedensten Spannungen erzeugt, so verursacht es auch keinerlei Schwierigkeit, verschiedene Lampen eines Stromkreises, z. B. in der durch Fig. 119 A versinnlichten Weise, zu schalten, so daß also die die beiden Hauptleitungen verbindenden Zweige eine, zwei, drei ... Lampen aufnehmen; hierbei ist nur die Bedingung zu erfüllen, daß der Gesammtwiderstand in jedem einzelnen Zweige unverändert bleibt, d. h. also, daß der Widerstand jenes Zweiges, in welchem zwei, drei ... Lampen hintereinander geschaltet sind, ebenso groß ist als der Widerstand jenes Zweiges, der nur eine Lampe enthält. Daß derartige Schaltungen in der Praxis sehr erwünscht sein können, erhellt daraus, weil sie die

Möglichkeit gewähren, in einem und demselben Stromkreise Lampen von verschiedener Lichtintensität zu betreiben.

Bei der Hintereinanderschaltung von Glühlampen darf jedoch der Umstand nicht übersehen werden, daß die einzelnen Lampen dadurch ihre Unabhängigkeit von einander verlieren. So können z. B. bei der in Fig. 119 A dargestellten Schaltung nie einzelne Lampen ausgelöscht oder zum Brennen gebracht werden, sondern es werden immer alle Lampen,

Fig. 118.

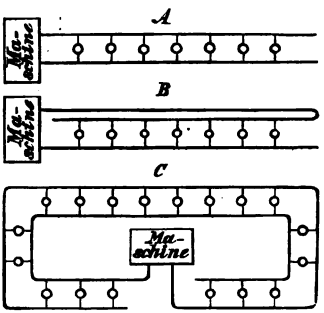
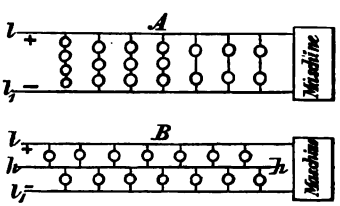


Fig. 119.



welche auf der betreffenden Zweigleitung hintereinander geschaltet sind, gleichzeitig brennen und gleichzeitig erlöschen; geht eine Lampe zu Grunde, so erlöschen alle Lampen dieses Zweiges. Ein Mittel zur Hintanhaltung dieses Uebelstandes wurde in dem **Drei-, Vier-** oder überhaupt **Mehrleiter-System** gefunden. Das Dreileiter-System, welches zur Anwendung kommt, wenn je zwei Lampen hintereinander geschaltet werden sollen, ist in Fig. 119 B skizzirt. Es ist charakterisirt durch die zwischen die beiden Hauptleitungen $_1$ eingeschaltete Hilfsleitung h h_1, welche direct nur mit den Lampen, nicht aber mit den Hauptleitungen verbunden ist. Ein Blick auf die Figur lehrt, daß, ohne Aufhebung

der Hintereinanderschaltung, doch die Unabhängigkeit der Lampen von einander gewahrt ist.

Es mag schließlich noch bemerkt werden, daß man auch bereits automatische Vorrichtungen erdacht hat, um sowohl die Unabhängigkeit hintereinander geschalteter Lampengruppen, als auch einzelner Glühlichter von einander zu sichern.

2. Leitungen und Hilfsapparate.

Als Material für die Leitungen kommt fast ausschließlich möglichst reines Kupfer zur Verwendung, da dieses von allen Metallen, die hier überhaupt in Betracht gezogen werden können, die höchste Leitungsfähigkeit besitzt. Der Querschnitt der Leitung hängt sowohl von der Länge derselben als auch von der Stromstärke ab, so zwar, daß er mit der Zunahme dieser ebenfalls vergrößert werden muß. Die Drahtstärke hängt aber auch von der Verwendung der elektrischen Ströme für Einzel- oder Theilungslicht bei Schaltungen dieser oder jener Art ab. Ausführliche Zahlenangaben hierüber findet man in den bereits zahlreich erschienenen Fachkalendern und Taschenbüchern. Hier möge diesbezüglich jedoch bemerkt werden, daß diese Angaben nur als angenäherte aufzufassen sind, als Werthe, die durch die Art der stromliefernden Maschine, durch locale Verhältnisse, Materialpreise u. s. w. modificirt werden können. Es ist nicht gleichgiltig, ob die Aufgabe gestellt wird, eine gegebene Kraft mit möglichst geringem Verluste weiter zu leiten, also möglichst vollständig auszunützen, oder ob es hauptsächlich darauf ankommt, die Anlage billig herzustellen, oder endlich ob beides, so weit es sich vereinigen läßt, in Berechnung zu ziehen ist. Je nach dem Preise des Leitungsmaterials, nach den Kosten der Arbeit wird für verschiedene Länder

und Orte ein wechselnder Prozentsatz des Verlustes an elektrischer Energie nicht nur statthaft, sondern auch rationell erscheinen.

Für die Berechnung des Widerstandes einer Leitung können zwar Tabellen benützt werden, wie solche in vielen Werken aufgenommen sind; doch will man sicher gehen, so muß man den Widerstand des Leitungsdrahtes direct messen, da die Leitungsfähigkeit desselben, auch gleich bezeichnetes Material vorausgesetzt, bei verschiedenen Provenienzen erheblich variirt.

In Bezug auf die Herstellung der Leitung muß zunächst zwischen Außen- und Innenleitung, d. h. zwischen Leitungen außerhalb und innerhalb der Gebäude unterschieden werden.

Die **Außenleitungen** können sowohl ober- als auch unterirdisch angelegt werden. Zu Leitungen im Freien bedürfen die Kupferdrähte in der Regel keiner isolirenden Umhüllung. Isolirende Umhüllungen sind für Außenleitungen überhaupt nur dann brauchbar, wenn sie gegen die Einflüsse der Witterung geschützt sind, was z. B. durch Bleiumpressung erreicht werden kann. Man verwendet also gewöhnlich blanke Drähte oder Drahtseile aus weichem Kupfer, da harter oder zu starker Kupferdraht die Manipulationen sehr erschwert. Vor der Befestigung auf den Isolatoren ist der Draht oder das Seil möglichst gerade auszulegen und dann dessen Spannung etwa durch zwei Flaschenzüge entsprechend zu reguliren.

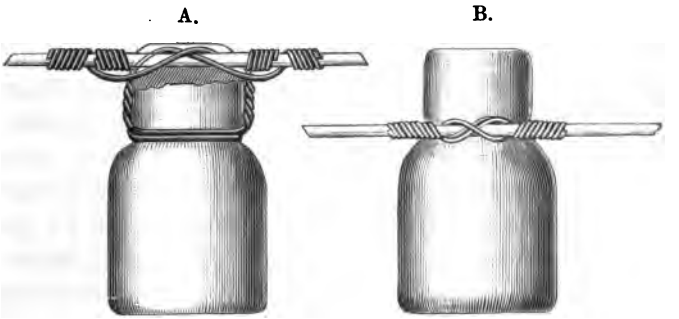
Die Isolatoren selbst können verschiedene Formen erhalten; die gegenwärtig gebräuchlichsten haben die Gestalt einer Doppelglocke und sind aus Hartfeuerporzellan verfertigt. Man fordert, daß sie in ihrer Masse vollkommen homogen sind, einen muscheligen, feinkörnigen Bruch zeigen

und eine Glasur besitzen, welche in glatten, vollkommen zusammenhängenden Flächen den Körper des Isolators innen und außen überzieht.

Die Leitung wird dann durch den Oberbund (Fig. 120 A) auf geraden Leitungsstrecken, durch den Seitenbund (Fig. 120 B) auf Curven oder Winkeln befestigt.

Bei der fortwährend zunehmenden Verbreitung, welche die elektrische Beleuchtung gewinnt, wird man immer mehr und mehr dazu gedrängt, die Leitungen unterirdisch zu

Fig. 120.



führen. Die hierzu erforderlichen Kabel werden gegenwärtig, allen Anforderungen entsprechend, bereits in den meisten Ländern erzeugt.

Fig. 121 A stellt den Querschnitt eines Bleirohrkabels (von Berthoud, Borel u. Co.) dar, wie solche z. B. zur Herstellung der Leitung verwendet wurden, welche in Wien die elektrische Centrale mit den beiden Hoftheatern verbindet. Jedes der vier Kabel dieser Leitung besteht aus 37 Kupferadern mit einem Querschnitte von 250 qmm und einer Länge von 1500 m. Die isolirende Umhüllung ist aus Pflanzenfasern hergestellt, welche mit einer isolirenden Masse

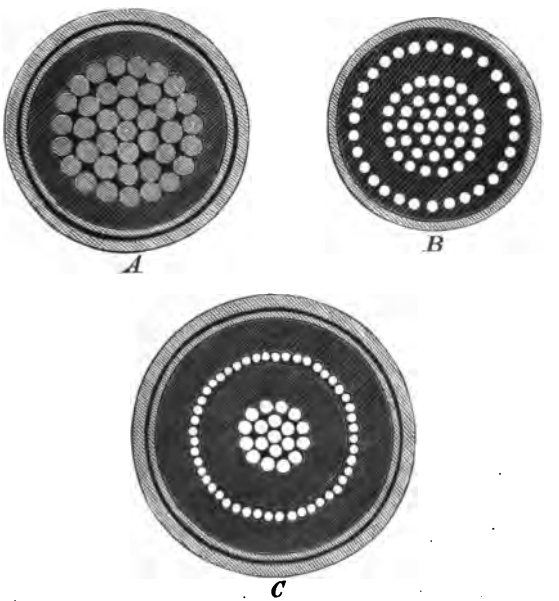
durchtränkt sind. Man benützt hierzu ganz allgemein Hanf-, Jute- oder ähnliche Fasern und tränkt sie mit theer- und harzartigen Massen. Ueber diese isolirende Schichte wird durch Umpressung ein Bleirohr hergestellt.

Zu den Forderungen, welche man an Kabel überhaupt stellt, als da sind eine genügende Leitungsfähigkeit, gute Isolirung, Dauerhaftigkeit, eine bestimmte Schmiegsamkeit, die das Aufrollen gestattet, u. s. w., kommt namentlich bei Anwendung von hochgespannten Wechselströmen noch die Forderung hinzu, daß das Kabel inductionsfrei sein muß, und zwar nicht nur in Bezug auf etwa vorhandene benachbarte Leitungen für irgend welche Zwecke, sondern auch in Bezug auf seine eigenen Bestandtheile, also z. B. auf die Bleiumpressung oder auf vielleicht zum Schutze des Kabels um dieses geflochtene Eisendrähte. Es ist bereits gelungen, auch dieser Anforderung Genüge zu leisten, indem man die **concentrischen Doppelkabel** construirte. Es ist nämlich eine experimentell festgestellte Thatsache, daß die Inductionswirkungen von Wechselströmen aufgehoben werden, wenn man Hin- und Rückleitung möglichst nahe aneinander und symmetrisch zueinander anordnet. Dies ist nun bei den concentrischen Doppelkabeln in der Weise durchgeführt, daß die eine Leitung aus dem in der Mitte des Kabels angeordneten Drahtbüschel gebildet wird, während die zweite Leitung aus Kupferdrähten besteht, welche isolirt von diesem Büschel dieses concentrisch umschließen, wie dies aus dem Querschnitte eines derartigen Kabels von Siemens & Halske in Fig. 121 B zu ersehen ist. Diese zweite Leitung umkleidet eine isolirende Schichte und das Ganze wird dann durch ein gemeinschaftliches Bleirohr eingeschlossen.

Berthoud, Borel u. Co. bilden die innere Leitung in derselben Weise, setzen aber die zweite Leitung

aus einem die Isolirung der inneren Leitung umschließenden Bleirohre und den dasselbe bedeckenden, also ebenfalls concentrisch angeordneten Kupferdrähten zusammen (Fig. 121 C). Da die innere Leitung die in ihr durch den Strom erzeugte

Fig. 121.



Wärme nur sehr schwer abzugeben in der Lage ist, so erhält sie immer einen größeren Gesammtquerschnitt als die äußere Leitung. Man vermeidet auf diese Weise eine stärkere Erwärmung und dadurch auch eine stärkere Abnahme der Leitungsfähigkeit in der inneren Leitung als in der äußeren. Auch dieses concentrische Doppelkabel ist ebenso wie das früher besprochene einfache Kabel dieser Firma nach außen durch eine doppelte Bleiumpressung abgeschlossen.

In Fig. 122 endlich ist die Art der Verbindung einer Hauptleitung mit einer Zweigleitung unter Benützung des Doppelkabels dargestellt. Um die Verbindungsstellen zu schützen, sind dieselben ebenso wie bei den gleich zu beschreibenden Leitungen von Edison in eiserne Kästen eingeschlossen, die nach hergestellter Verbindung mit Paraffin ausgegossen und durch einen gut passenden Deckel und die dazu gehörigen Schrauben fest verschlossen werden.

Die Leitungen, welche Edison benützt, werden in ganz anderer Weise, nämlich aus Kupferstäben, deren Querschnitte Kreissegmente bilden (Fig. 123) zusammengesetzt; sie liegen mit einander zugewandten ebenen Flächen innerhalb schmiedeeiserner Röhren, welche im Innern mit Isolirmasse gefüllt, außen zum Schutze gegen Rost mit getheerten Bändern umwickelt sind. Um jede gegenseitige Berührung der Kupferstäbe zu vermeiden und die gleiche Entfernung derselben von einander auf der ganzen Länge zu bewahren, schiebt man ausgestanzte Pappscheiben, welche durch Schnüre in gewissen Entfernungen unter einander verbunden sind, über die Leiter, setzt diese in das Rohr ein und umgibt sie mit einer Isolirmasse; die Zusammensetzung der letzteren wird geheim gehalten.

Diese Leitungsröhren werden in Baulängen von 6 m Länge hergestellt und wie Gasleitungsröhren in die Erde gelegt oder in unterirdischen Canälen geführt. Die Verbindung der einzelnen Röhren unter einander wird nach den Mittheilungen der deutschen Edison-Gesellschaft in nachstehender Weise ins Werk gesetzt. Die ungefähr 5 cm an jedem Rohrende hervorragenden Kupferbarren (Fig. 124) werden sorgfältig gereinigt, worauf man zwei Rohrstücke so aneinander legt, daß zwischen den Kupferenden ungefähr ein Zwischenraum von 5 cm bleibt. Hierauf verbindet man

Fig. 122.

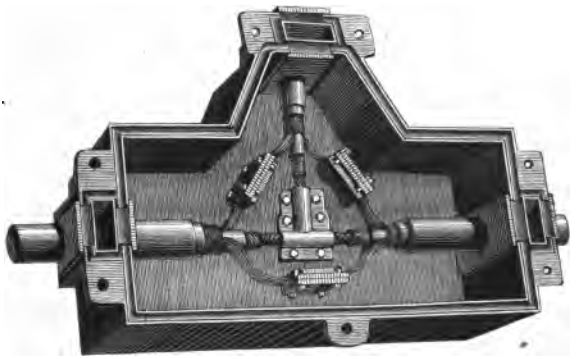


Fig. 123.

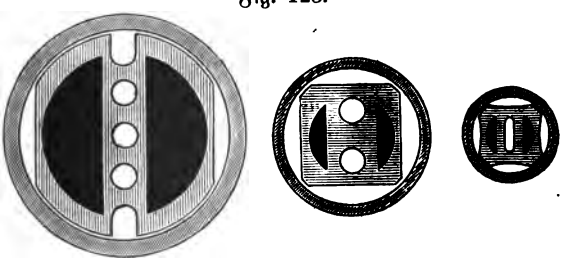
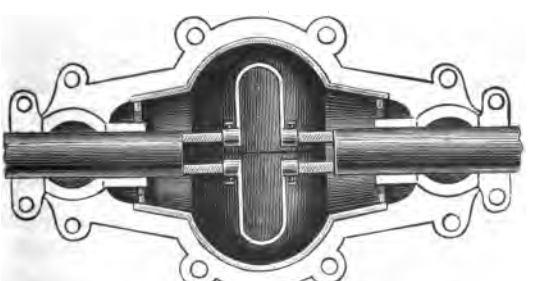


Fig. 124.



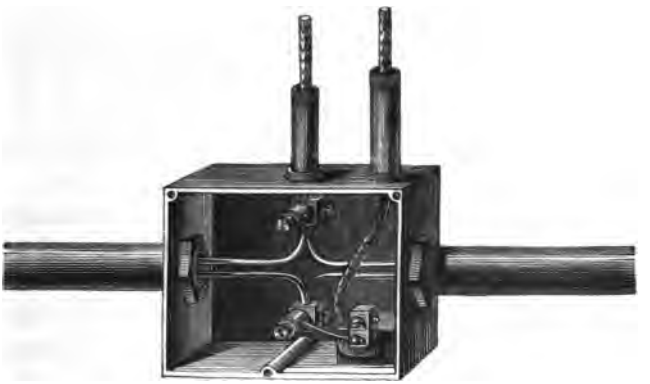
je zwei Kupferenden durch einen kupfernen U-förmigen Bügel, welcher bezweckt, eine Ausdehnung und Zusammenziehung der ganzen Leitung zu ermöglichen. Die Befestigung der Bügel an den Kupferenden erfolgt durch Schrauben und zur vollen Sicherung des Contactes durch hierauf folgendes Löthen im Wasserstoffstrome. Dann wird die Verbindungsstelle mit einem gußeisernen Kasten umgeben, dessen Inneres, nachdem man zwischen die beiden Pole ein mit Paraffin getränktes Kartenblatt gelegt hat, mit Isolirmasse ausgegossen wird.

In Fig. 125 ist die Abzweigung einer **Innenleitung**, z. B. einer Zimmerleitung von der Hausleitung dargestellt. Die Büchse wird hierbei nicht mit isolirendem Materiale ausgegossen, sondern nur durch einen Deckel verschlossen. Die in der Büchse beiderseits aufgebogenen Leitungsdrähte werden zu je einer Klemme geführt; von der einen Klemme, der oberen in der Figur, läßt man den einen Leitungsdraht ausgehen, während die untere Klemme durch einen Bleidraht mit einer dritten Klemme verbunden wird, von welcher der zweite Leitungsdraht der Zimmerleitung ausgeht. Der Bleidraht stellt die uns bereits bekannte Sicherheitsvorrichtung dar (S. 125).

Die Innenleitungen werden immer mit isolirten Drähten ausgeführt. Zur Befestigung derselben verwendet man in der Regel hölzerne Klammern (Fig. 126 A), die mit entsprechenden Auskerbungen versehen sind und durch Holzschrauben in Dübel u. dgl. an die Wand gepreßt werden. Ist jedoch die Leitung über feuchte Wände zu führen, so müssen Doppelklammern (Fig. 126 B) zur Anwendung gelangen, bei welchen die Drähte zwischen zwei Hölzer kommen und von der Wand abstehen. An Stelle solcher Doppelklammern können auch Porzellan-Isolatoren

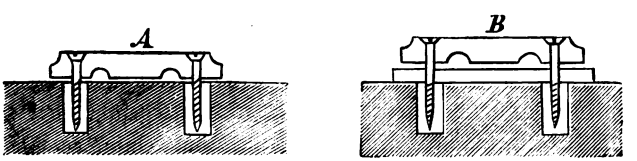
Verwendung finden. Leitungen, welche mit der Hand erreichbar sind oder leicht beschädigt werden können, führt

Fig. 125.



man zweckmäßig in Holzleisten, welche mit entsprechenden Rinnen versehen sind und durch Holzleisten verschlossen werden können (Fig. 127).

Fig. 126.



Hat die Leitung eine Mauer zu durchsetzen, so wird in die Durchbohrung der Mauer zunächst eine Glas- oder gut glasirte Steingutröhre A A (Fig. 128) eingeführt und dann steckt man durch diese den isolirten, mit einem dicken Kautschukschlauche C umhüllten Draht der Innenleitung.

Nachdem dieser den Isolator passirt hat, wird er bei D mit der blanken Außenleitung verbunden; ein kleines Regendach E schützt gegen das Eindringen von Feuchtigkeit.

Um unsere Betrachtungen über die Leitungen zum Abschluß zu bringen, erübrigt uns noch die Besprechung einiger Vorrichtungen, welche sich als von der Leitung untrennbare Bestandtheile derselben darstellen; so sind dies die Schutzvorrichtungen sowohl gegen Entladungen der atmosphärischen Elektricität, als auch gegen zu starke Maschinenströme und die Ein- und Ausschaltvorrichtungen.

Daß man die im Freien geführten Stromleitungen gegen **Blitzschlag** schützen muß, bedarf wohl keiner näheren Erklärung. Es ist nun naheliegend, sich zur Abwendung dieser Gefahr ähnlicher Apparate zu bedienen, als solche bei den Telegraphen- und Telephonleitungen in Verwendung stehen. Stellen also z. B. D (Fig. 129) eine Lichtmaschine, S S den als Außenleitung verlaufenden Stromkreis derselben dar, so könnte die Blitzschutzvorrichtung in der Weise angeordnet werden, daß man bei B und B_1 geeignete Blitzplatten anbringt, welche mit Erdleitungen $E E_1$ versehen sind. Findet nun eine Entladung atmosphärischer Elektricität statt, so gelangt diese nach B oder B_1 oder an beide Punkte, überspringt ihrer hohen Spannung wegen den Luftzwischenraum in den Blitzplatten und fließt direct zur Erde ab, ohne die Maschine oder andere Apparate zu gefährden.

Der Blitzschutz wäre somit in ganz einfacher Weise erreicht, wie bei den Telegraphen- und Telephonleitungen, wenn man hier nicht noch mit einem Umstande zu rechnen hätte; es ist dies der Maschinenstrom von oft sehr erheblicher Stärke. Sobald nämlich der Blitz in Funkenform zwischen den Platten des Blitzableiters auftritt, stellt er auch für diese kräftigen Maschinenströme einen kurzen Schluß

Fig. 127.

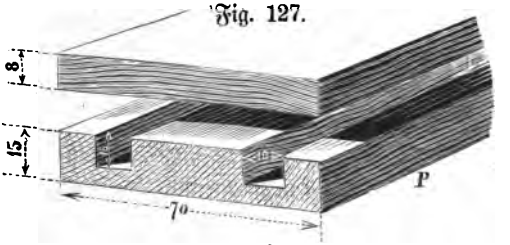


Fig. 128.

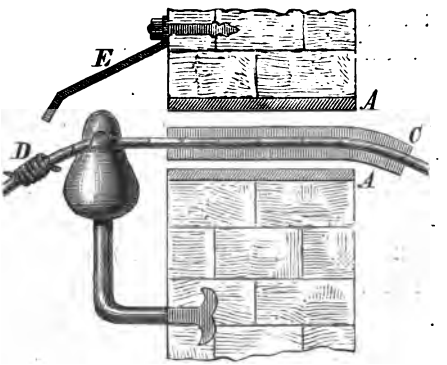
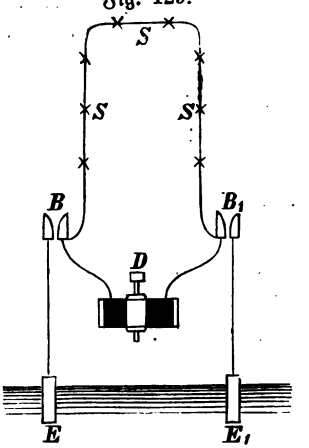


Fig. 129.



her, welche dann in Form von Voltabögen den Luftzwischenraum zwischen den Blitzableitern überbrücken werden. Falls die Maschine eine Serienmaschine ist, wäre sie nun allerdings gegen die directe Wirkung des Blitzes geschützt, würde sich aber durch die eigenen Ströme zerstören. Diesem Uebelstande könnte man durch rasches Ausblasen der Voltabogen begegnen; Elihu Thomson zieht es hingegen vor, dieses Geschäft der ablenkenden Kraft eines Elektromagnetes zu übertragen.

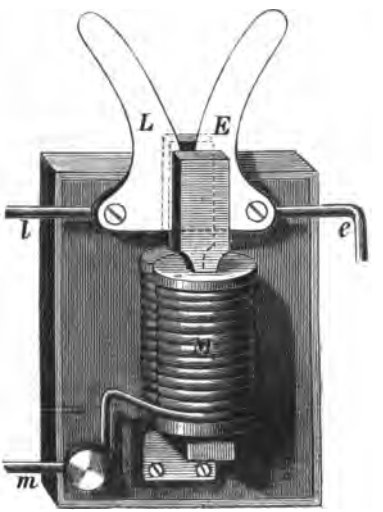
Thomson's Blitzableiter für dynamo-elektrische Maschinen erhielt sonach die in Fig. 130 abgebildete Gestalt. Zwei gekrümmte Messer L und E sind mit der Außenleitung l, beziehungsweise Erdleitung e verbunden. Zwischen die Außenleitung l und die von der Maschine kommende Leitung m ist ein Elektromagnet geschaltet, dessen flache Pole zu beiden Seiten der sich an ihrem unterem Ende auf 1 mm Entfernung gegenüberstehenden Messer emporragen. Der Magnet behält also so lange seine Wirksamkeit, als die Maschine im Betriebe steht. Wird nun infolge einer Entladung atmosphärischer Elektricität zwischen L und E ein Voltabogen gebildet, so wird dieser durch die magnetische Kraft der beiden Pole zurückgedrängt und muß wegen der Krümmung der Messer immer wachsende Luftzwischenräume überbrücken; das Wachsen des Bogens wird aber bald in der bestimmten Stromstärke der Maschine seine Grenze finden, d. h. der Bogen muß erlöschen.

Andere Constructeure lassen, um die Entstehung eines Voltabogens zu vermeiden, den Blitz auf einen Elektromagnet wirken, der durch Anziehen seines Ankers die Blitzplatten von einander entfernt.

Da die Möglichkeit, daß der Strom infolge irgend welcher Umstände zu einer Stärke anwächst, welche die

normale bedeutend übersteigt, nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, bedürfen die Leitungen zu ihrem Schutze und zum Schutze gegen Feuersgefahr, bewirkt durch das Erglühen oder Abschmelzen zu schwacher Leitungen, auch geeigneter Vorrichtungen, die ein derartiges gefährliches Anwachsen des Stromes unschädlich zu machen vermögen.

Fig. 130.

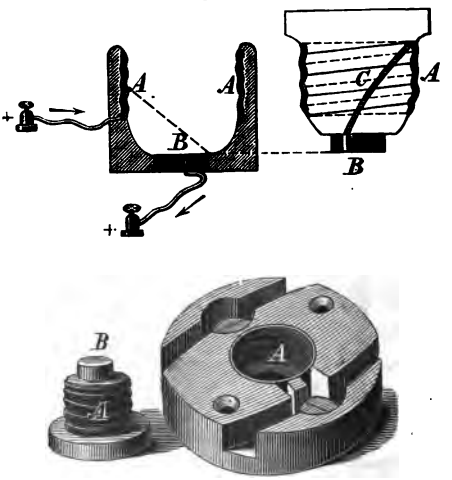


Man bedient sich hierzu gewöhnlich der von Edison erfundenen **Bleisicherungen**, wie solche bereits wiederholt erwähnt wurden (S. 125 u. 220). Wenn die Bleisicherungen entsprechend wirken sollen, so dürfen sie nicht zu sparsam verwendet werden. Nicht nur die Hauptleitungen, sondern auch alle Zweigleitungen sind damit zu versehen, und zwar letzteres auch aus dem Grunde, daß im Falle der Gefahr nicht gleich das ganze Leitungsnetz, sondern nur jene

Lampengruppe ausgeschaltet wird, in welcher ein Fehler eingetreten ist.

Edison hat als Form der Bleisicherung die eines Pfropfens gewählt (Fig. 131). Dieser ist aus einem unverbrennbaren Materiale, aus Gyps, hergestellt und mit den beiden Metallbelegen A und B versehen, von welchen ersterer

Fig. 131.

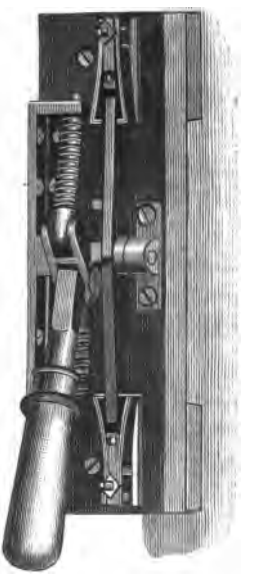


eine Schraube bildet, mit welcher der Pfropf in die im Unterbrecher befindliche Mutter A A eingeschraubt werden kann. Letztere ist gleichfalls aus Metall und steht mit dem einen Ende der behufs Einschaltung der Bleisicherung unterbrochenen Leitung in Verbindung, während das zweite Ende mit der Metallfläche B am Boden des Ausschalters verbunden wird. Im Gypsstöpsel sind die Metallflächen A und B durch den Bleidraht C mit einander verbunden. Schraubt man daher den Stöpsel in den Unterbrecher ein,

so werden durch den Bleidraht die beiden Contactflächen des Stöpsels mit jenen des Ausschalters verbunden, d. h. der Bleidraht ist in die betreffende Leitung eingeschaltet.

Wie aus der Figur ersichtlich, wird durch das Herausnehmen des Gypspfropfes die Leitung unterbrochen; es kann also diese Vorrichtung auch als **Ausschalter** benützt werden (vergl. Fig. 74, S. 125). Gewöhnlich verwendet man aber als Ausschalter Vorrichtungen, die eigens für diesen Zweck construirt sind und sich daher auch besser dazu eignen. Man hat nämlich beim Unterbrechen des Stromkreises auf denselben Umstand Rücksicht zu nehmen, wie bei der Construction der Blitzableiter: es muß der, infolge der bedeutenden Stärke der Ströme, äußerst kräftige Oeffnungsfunke möglichst abgeschwächt und die Bildung eines Voltabogens an der Unterbrechungsstelle vermieden werden, weil sonst die Contactstücke zusammenschweißen können oder doch durch Abbrennen sehr rasch zu Grunde gehen würden.

Fig. 132.



Man vermeidet diese Uebelstände durch möglichst plötzliches Unterbrechen, durch gleichzeitiges Unterbrechen an mehreren Stellen und durch Vergrößerung der Fläche auf der Unterbrechungsstelle. Hierauf beruhend sind Ausschalter und Umschalter der verschiedensten Formen hergestellt worden.

Siemens & Halske sorgen bei ihren Ausschaltern, von welchen einer in Fig. 132 abgebildet ist, für ein

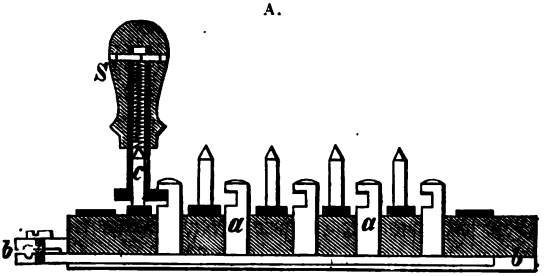
raſches Aus- und Einſpringen der Contacte durch Anwendung eines eigenthümlichen Kniehebelmechanismus und ſtarke Spiralfedern. Die Contacte ſind dadurch gebildet, daß ein drehbarer Meſſingſtab an ſeinen beiden Enden durch zangenartige Federn eingeklemmt wird. Drückt man den Kniehebel mittelſt ſeiner Handhabe herab, ſo werden die ſtarken Spiralfedern zuſammengedrückt und wirken im entſprechenden Momente durch eine zweckmäßige Umſetzung derart auf den Meſſingſtab, daß dieſer zum plötzlichen Ausſchnellen aus ſeinen Federcontacten gezwungen wird.

Beſteht eine Beleuchtungsanlage aus mehreren Maſchinen und Lampenkreiſen, ſo wünſcht man gewöhnlich, jede Maſchine mit jedem Stromkreiſe in Verbindung ſetzen zu können. Man bedient ſich hierzu ſogenannter **Generalumſchalter**. Der von der Firma Siemens & Halske conſtruirte General-Umſchalter iſt in Fig. 133 A und B in Schnitt und Anſicht dargeſtellt. Er beſteht aus zwei unter rechtem Winkel ſich überkreuzenden Syſtemen paralleler Meſſingſchienen, welche durch eine zwiſchengelegte Holzplatte von einander iſolirt ſind. Auf den unteren Schienen b aufgeſetzte Metallſäulchen a ragen über die oberen Schienen hinaus und ſind an ihren freien Enden mit Einkerbungen verſehen. Die oberen Schienen tragen die Metallzapfen c. Denkt man ſich nun die untere Schienenreihe mit den Leitungen der Lichtmaſchinen, die obere Schienenreihe mit den Lampenſtromkreiſen verbunden, ſo laſſen ſich Maſchinen und Lampenſtromkreiſe beliebig unter einander verbinden, wenn man die betreffenden Schienen dadurch mit einander in Contact bringt, daß man den Handgriff S auf den entſprechenden Zapfen c ſteckt, kräftig niederdrückt und durch eine Vierteldrehung deſſen excentriſchen Anſatz mit der Einkerbung des betreffenden Säulchens a zum Eingriffe

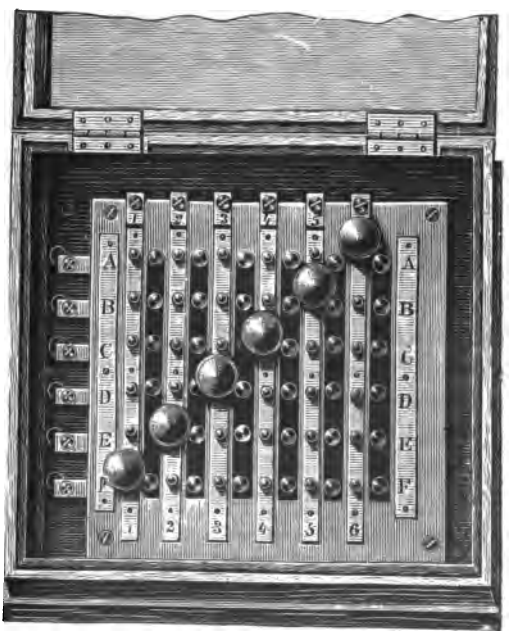
bringt. Die in der Höhlung des Handgriffes untergebrachte kräftige Spiralfeder sorgt für die Güte des Contactes.

Fig. 133.

A.



B.



3. Meß- und Controlapparate.

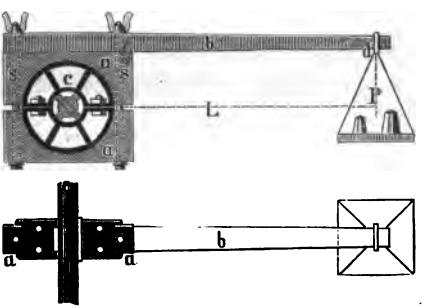
Die Meßapparate können unterschieden werden entweder in solche, welche als Controlapparate für die Stromerzeugung dienen, und in solche, welche den Stromverbrauch zu messen haben, oder aber in mechanische, elektrische und optische Apparate. Hierbei decken sich diese beiden Eintheilungen in der Art, daß die mechanischen Instrumente als Controlapparate für die Stromerzeugung, die optischen Instrumente zur Messung des Stromverbrauches und die elektrischen für beiderlei Zwecke Verwendung finden. Ohne auf alle Messungen, welche beim Betriebe elektrischer Beleuchtungsanlagen in Betracht kommen, näher einzugehen, müssen wir uns hier des engbemessenen Raumes wegen damit begnügen, beispielsweise einzelne Instrumente zu beschreiben, welche zu den verschiedenen Messungen Verwendung finden können.

Um die Arbeit zu bestimmen, welche der elektrischen Maschine durch den Motor (z. B. die Dampfmaschine) mitgetheilt wird, bedient man sich der **Dynamometer.** Ein solches Bremsdynamometer, der Prony'sche Zaum, ist in Fig. 134 abgebildet; c ist eine Scheibe aus Gußeisen von ähnlicher Form wie die Riemenscheiben an den elektrischen Maschinen. Diese wird durch zwei hölzerne Bremsklötze a a umfaßt; am oberen Klotze ist der Balken b befestigt, der bei d eine Wagschale zum Auflegen der Gewichte besitzt. Die Schrauben s s dienen zum Zusammenhalten beider Bremsklötze.

Um mit dem Prony'schen Zaum eine Messung auszuführen, wird die Scheibe c auf jene Welle aufgekeilt, deren Effect zu bestimmen ist. Hierauf zieht man die Schrauben s s an, so daß die Bremsklötze an der Scheibe

anliegen, und läßt die Maschine mit einer bestimmten Tourenzahl (derjenigen, für welche der Effect gemessen werden soll) laufen. Würde man bei P keine Gewichte auflegen, so müßte die Bremse in der Rotationsrichtung der Welle mitgedreht werden. Nun legt man aber so viele Gewichte auf, daß der Balken b horizontal bleibt, während die Welle die normale Tourenzahl macht. Die Reibung, welche die auf die Welle übertragene mechanische Arbeit verbraucht, wird gemessen durch die Kraft, mit welcher die

Fig. 134.



Wagschale bei d niederzusinken strebt; diese Kraft hält eben der Reibung bei c das Gleichgewicht. Da das auf die Wagschale gelegte Gewicht P, die Länge L des Hebelarmes, der Halbmesser der Rolle c und die Tourenzahl der Welle bekannt ist, so kann man leicht den Effect in Pferdekräften berechnen.

Häufig kommt auch zu einer derartigen Messung der Arbeitsmesser von Hefner v. Alteneck zur Verwendung. Er dient zur Messung der durch einen Treibriemen übertragenen Arbeit, indem er aus der Differenz der Spannungen des hin- und rücklaufenden Riementheiles die wirkende

Kraft erkennen läßt. Diese wird in Kilogramm angegeben, welche dann mit der Rotationsgeschwindigkeit der Welle, ausgedrückt in Metern, zu multipliciren sind, um Kilogramm-Meter zu erhalten.

Zur Ermittlung der Tourenzahl benützt man sogenannte **Tourenzähler**, von welchen eine Construction in Fig. 135 abgebildet ist. Man drückt den Tourenzähler mit seinem Ende a derart an die Maschinenwelle an, daß die Axen der Tourenzählerspindel und der Maschinenwelle in

Fig. 135.

eine Linie fallen. Die durch die Maschinenwelle mitgenommene Spindel versetzt dann durch den Eingriff ihrer Wurmschraube in die gezahnte Scheibe, die zugleich ein Zifferblatt bildet, dieses unter den feststehenden Zeigern in Bewegung. Es entspricht dann jeder Umdrehung der Welle ein Theilstrich der größeren Theilung, jeder Theilstrich der kleineren Theilung 100 Umdrehungen. Gleichzeitig hat man mit Hilfe einer Uhr natürlich auch die Zeit zu bestimmen. Um dieser Unbequemlichkeit zu entgehen, bedient man sich gegenwärtig gewöhnlich sogenannter **Tachometer** oder Geschwindigkeitsmesser, welche die Umlaufsgeschwindigkeit direct angeben. Ein Princip, welches zur Construction solcher Apparate

häufig zur Anwendung gelangt, ist das des Centrifugal-Regulators. Ein solcher wirkt nämlich durch eine entsprechende Zug- oder Schubvorrichtung auf ein geeignetes Räderwerk und setzt dieses in Bewegung. Mit demselben ist ein Zeiger verbunden, der auf einer Kreistheilung spielt, von welcher man direct die Tourenzahl abliest. Ein derartiges Tachometer, und zwar jenes von Buß, Sombart & Co. (Magdeburg), welches sich mit Recht großer Beliebtheit erfreut, ist in Fig. 136 abgebildet. In dieser Form eignet es sich für stabile Aufstellung neben der zu controlirenden

Fig. 136.

Maschine, mit deren Welle es durch die links sichtbare Riemenscheibe in Verbindung gesetzt werden kann. Dieses Tachometer wird auch als Tachograph und auch als Handtachometer gebaut; im letzteren Falle bleibt natürlich die Riemenscheibe weg und an ihre Stelle tritt für den Antrieb ein Frictionsdreispitz, welcher wie bei den einfachen Tourenzählern auf das freie Ende jeder rotirenden Welle gesetzt werden kann.

Zur Messung der von den Lichtmaschinen gelieferten Ströme bedarf man zweierlei Instrumente, da man sowohl die Stromstärke als auch die Spannung zu bestimmen hat, ebenso wie man bei Nutzwasserleitungen sowohl das durch-

laufende Wasser selbst, als auch den Druck, unter welchem es fließt, mißt. Apparate dieser Art sind u. a. der elektrodynamometrische Stromzeiger (Fig. 137) und der Spannungsmesser (Fig. 138) der Firma Siemens & Halske.

Der Stromzeiger (das **Ampèremeter**) dient zur Controle der Stromstärke bei Parallelschaltung der Lampen und ist auf bestimmte Spannung adjustirt. Er besteht aus einer durch wenige Windungen starken Kupferdrahtes gebildeten Spirale und einem mit vielen Windungen dünnen Drahtes

Fig. 137.

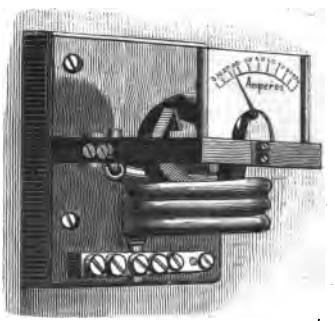


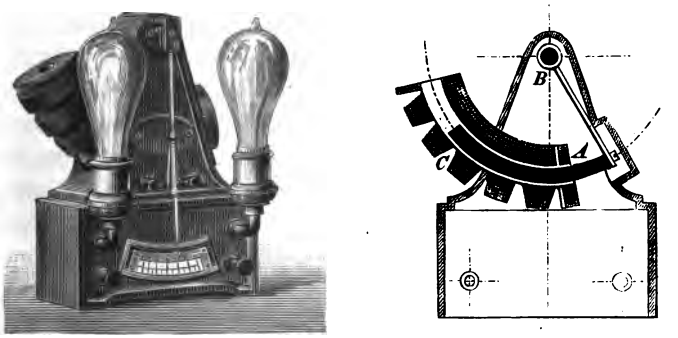
Fig. 138.

bewickelten drehbaren Ringe, dessen Drehaxe die verticale Axe der dicken Spirale rechtwinkelig durchschneidet und der ungefähr bis zur Hälfte seines Umfanges in diese Kupferspirale eingesenkt ist. Dieser Ring ist mit einem Zeiger verbunden, welcher auf einer in Ampère eingetheilten Scala einspielt. Der zu messende Strom geht durch die dicken Windungen, während der bewegliche Ring in eine Glühlampe eingeschaltet wird, so daß ein schwacher aber constanter Strom denselben umkreist und demzufolge durch die zwischen beiden Stromkreisen zur Wirkung kommende elektrische Anziehung eine der Stromstärke proportionale

Drehung des Ringes hervorgerufen wird. Dieser Drehung entsprechend, deutet der Zeiger bei gleichbleibender Spannung im Stromkreise die Zahl der denselben durchfließenden Stromeinheiten in Ampère an.

Der Spannungsmesser (das **Voltmeter**) besteht gleichfalls aus einem festen und einem drehbaren Drahtringe. Durch diese Drahtringe wird der zu messende Strom geführt und die infolge davon am drehbaren Ringe ein-

Fig. 139.



tretende Abweichung aus seiner Gleichgewichtslage mittelst des mit dem Ringe verbundenen Zeigers an einer Scala abgelesen, welche die Spannung des Stromes in Volt angibt.

Die Firma Brückner, Roß u. Consorten hat ein Voltmeter construirt, welches zugleich einen für den praktischen Betrieb zweckmäßigen **Controlapparat** darstellt. Derselbe ist in Fig. 139 in Ansicht und Schnitt dargestellt und besteht aus einem kreisförmig gebogenen, weichen Eisenstücke A, welches um B drehbar aufgehängt ist, und den Kern des Solenoides C bildet. Die einzelnen Spulen des

letzteren sind, um Temperaturdifferenzen unschädlich zu machen, aus Neusilberdraht hergestellt, und die Verhältnisse wurden hierbei so bemessen, daß die Anziehung des Kernes der Stromstärke nahezu proportional erfolgt. Der Anziehung durch das Solenoid wirkt die Schwere des Eisenkernes entgegen; die Bewegungen desselben werden durch einen auf der Axe B sitzenden Zeiger angezeigt, der auf einer Scala spielt, welche die Stromspannung in Volt angibt.

Für die Praxis erscheint dieses Voltmeter besonders brauchbar, weil es den Maschinenwärter nicht nöthigt, die Scala zu beobachten, sondern demselben ein weithin sichtbares oder hörbares Zeichen gibt, wenn die Stromspannung über oder unter das gewünschte Maß geht. Zu diesem Behufe ist nämlich an jeder Seite des Zeigers eine Contactfeder angebracht, die mit dem ihr gegenüberstehenden Contactstifte in Berührung kommt, sobald die Spannung zu hoch oder zu niedrig wird. Der Zeiger steht mit dem Stromkreise in Verbindung und sendet dadurch Ströme durch die eine oder die andere (z. B. blaue oder rothe) Glühlampe. An Stelle dieses optischen Signales kann dem Wärter natürlich auch ein akustisches gegeben werden; man hat dann an Stelle der verschiedenfarbigen Lampen nur verschieden gestimmte Läutewerke einzuschalten.

Beim praktischen Betriebe einer Beleuchtungsanlage ist es häufig auch erforderlich, dieselbe auf ihren Isolationswiderstand zu prüfen und etwaige Fehler (Undichtigkeiten der Leitung) aufzusuchen. Ein für diesen praktischen Zweck recht brauchbares Instrument bildet der **Isolationsprüfer** von Siemens & Halske. Derselbe (Fig. 140) besteht aus einem Magnet-Inductor und einem Galvanoskop, dessen Zeiger auf einer nach Widerstandseinheiten (Ohm) eingetheilten Scala spielt. Bei Nichtbenützung des Apparates

findet auch das Galvanoskop im oberen Theile des Kastens Platz, während dessen unteren Theil der Inductor einnimmt. Das Galvanoskop wird mit dem Inductor in Serie geschaltet und zum Stromkreise durch Anlegen der freien Pole des Apparates an die betreffenden Stellen des Leitungstheiles, dessen Isolationswiderstand man prüfen will, in Nebenschluß gebracht. Dann setzt man den Inductor mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von zwei Umdrehungen in der Secunde in Bewegung und erhält so durch die Zeigerstellung am Galvanoskop den Isolationswiderstand in Ohm.

Fig. 140.

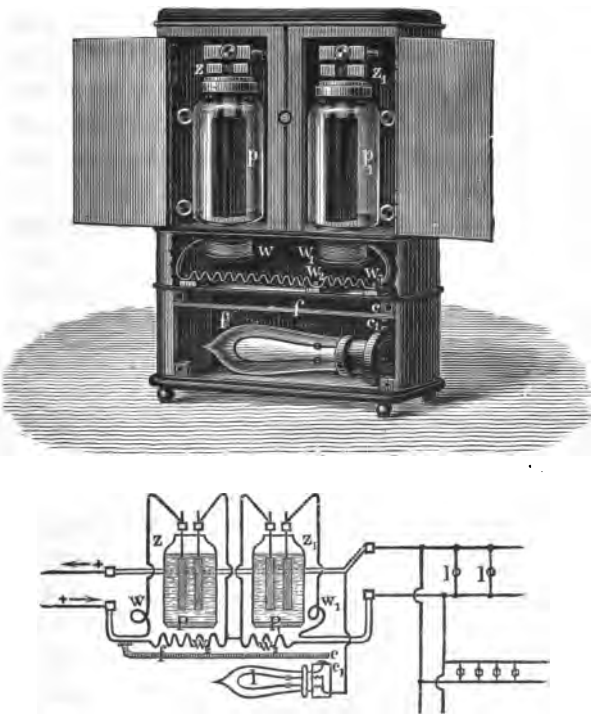
Genügen die eben beschriebenen oder ähnliche elektrische Meßapparate nun auch vollkommen für den Betrieb von Einzelanlagen, so müssen sie doch eine principielle Ergänzung finden, wenn Centralanlagen, welche ihre Ströme nicht einem, sondern mehreren oder vielen Abnehmern liefern, in Betracht kommen. Dann muß eben nicht nur der in der Maschinenhalle erzeugte Strom gemessen werden, sondern man muß auch in der Lage sein, die auf die einzelnen Abnehmer entfallenden Antheile zu bestimmen. Es müssen also Elektricitätsmesser an jeder Verbrauchsstelle (bei jedem Abnehmer) zur Aufstellung und Anwendung gelangen, welche dieselbe Aufgabe bei elektrischen Beleuchtungsanlagen zu erfüllen haben, wie die sogenannten Gasuhren bei der

Gasbeleuchtung. Wie in allen Theilen, so hatte Edison auch diesbezüglich eine bereits praktisch vollkommen verwendbare Lösung der Aufgabe gefunden, als er mit seinem Beleuchtungssysteme vor die Oeffentlichkeit trat.

Edison benützt zur Construction seiner Meß- und Registrirapparate die elektrolytischen Wirkungen des elektrischen Stromes. Bekanntlich zersetzt der elektrische Strom die Lösungen der Metallsalze und scheidet hierbei an der negativen Elektrode das Metall, an der positiven die Säure ab; diese Abscheidung der Zersetzungsproducte erfolgt unter sonst gleichen Umständen direct proportional der Stromstärke. Nach dem Ohm'schen Gesetze nimmt in einem gegebenen Schließungsbogen die Stromstärke zu mit der Zunahme der elektromotorischen Kraft und mit der Abnahme des Widerstandes. Bei Edison's Stromvertheilungssysteme wird die elektromotorische Kraft stets constant gehalten: hier ist also die Stromstärke nur durch den Widerstand bestimmt. Da Edison stets Parallelschaltung anwendet, so ist der Widerstand desto größer, je weniger Apparate, z. B. Lampen, in den Stromkreis eingeschaltet werden. Für dieses System gelten also die Sätze: Die Widerstände verhalten sich umgekehrt wie die Stromstärken, und die Widerstände verhalten sich umgekehrt wie die Zahlen, welche die eingeschalteten Lampen angegeben. Hieraus folgt, daß die Stromstärken den Zahlen der brennenden Lampen direct proportional sind. Da nun auch die Mengen der abgeschiedenen Zersetzungsproducte in einem Voltameter der Stromstärke proportional sind, müssen schließlich die abgeschiedenen Mengen der Zersetzungsproducte der jeweiligen Anzahl der brennenden Lampen proportional sein, d. h. die Mengen der Zersetzungsproducte geben ein richtiges Maß für die in den Lampen verbrauchte elektrische Energie. Dieses Maß bleibt

auch dann richtig, wenn man die Zeit in Betracht zieht, da unter sonst gleichen Umständen sowohl die elektrolytisch abgeschiedenen Mengen, als auch die in den Lampen ver-

Fig. 141.



brauchten elektrischen Energiemengen im geraden Verhältnisse zu den Zeiten stehen.

Auf Grundlage der eben erörterten Principien hat Edison Meßapparate verschiedener Formen construirt, eine derselben ist in Fig. 141 perspectivisch und schematisch dar-

gestellt. In dem verschließbaren eisernen Kasten sind zwei Voltameter $z\,z_1$ angebracht. Jedes derselben enthält zwei durch Hartgummi von einander isolirte Zinkplatten p und p_1, welche in eine Lösung von Zinkvitriol tauchen. Der Strom zerlegt die Lösung in Zink und Schwefelsäure, das Zink an der negativen, die Schwefelsäure an der positiven Elektrode abscheidend. Die an letzterer abgeschiedene Schwefelsäure löst wieder das Zink dieser Platte auf, so daß sich die Wirkung des elektrischen Stromes eigentlich nur als ein Transport des Zinkes von der positiven zur negativen Platte darstellt.

Würde man dieses Voltameter direct in den Lampenstromkreis schalten, so würde die eine Zinkplatte sehr rasch aufgelöst werden. Um dies zu vermeiden, schaltet Edison auf dem Wege zum Voltameter je einen Widerstand w_2 und w_3 (aus gewelltem Neusilberblech) ein, wodurch nur ein Zweigstrom in das Voltameter eintreten kann. Hierbei ist der Widerstand w_2 noch einmal so groß als der Widerstand w_3, daher ist die in dem einen Voltameter abgeschiedene Zinkmenge viermal so groß als die im anderen. Der Grund dieser Einrichtung liegt in der Bestimmung beider Voltameter. Das eine dient nämlich für die monatlich vorzunehmenden Messungen, das andere zur Controle derselben durch den Beamten der Gesellschaft.

Um die Abscheidung des Zinkes von der Temperatur unabhängig zu machen, sind noch zwei Drahtwiderstände w und w_1, jeder für eines der Voltameter eingeschaltet. Steigt nämlich die Temperatur, so wird der Widerstand im Drahte w, beziehungsweise w_1 erhöht, in der Flüssigkeit der dazu gehörigen Zersetzungszelle aber vermindert. Wählt man nun für den Draht einen entsprechenden Widerstand, so kann man es dahin bringen, daß die Tem-

peraturänderungen die Widerstände von Draht und Flüssigkeit derart ändern, daß sie sich gegenseitig compensiren.

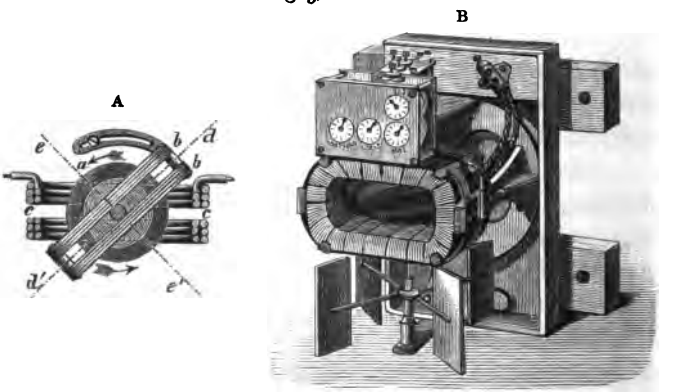
Unterhalb der Neusilberwiderstände befindet sich die aus zwei verschiedenen Metallen gebildete Feder f, die sich nach unten krümmt und die Contactstifte $c\,c_1$ zur Berührung bringt, wenn die Temperatur unter einen gewissen Grad sinkt. Durch die Berührung der Contacte $c\,c_1$ wird aber die Glühlampe l in den Stromkreis eingeschaltet, durch deren strahlende Wärme die Flüssigkeiten in den Voltametern wieder erwärmt werden. Ist die gewünschte Temperatur dadurch hergestellt, so hat sich auch die Feder infolge ihrer gleichzeitigen Erwärmung wieder nach aufwärts gekrümmt und dadurch den Contact unterbrochen, also die Lampe ausgeschaltet.

Der eben beschriebene Meßapparat wird in zwei Größen, nämlich für 25 und für 50 Lampen hergestellt. Für größere Anlagen und Centralstationen benützt Edison automatisch registrirende Apparate.

Edison's Strommesser sind natürlich nicht die einzigen geblieben; doch würde es zu weit führen, hier alle seither aufgetauchten Constructionen zu beschreiben und daher möge nachstehend nur noch ein derartiger Apparat deshalb erklärt werden, da er zur Messung von Wechselströmen geeignet ist und sich auch in der Praxis bewähren soll. Derselbe wurde von dem Elektriker der Westinghouse-Gesellschaft, **Shallenberger**, construirt und beruht auf der Wechselwirkung zweier secundärer Ströme auf einander, welche beide durch denselben primären Strom inducirt werden. Den einen der beiden secundären Stromkreise bildet eine Scheibe a, den anderen ein sie umgebendes Kupferband b (Fig. 142 A). Der äußere Theil der Scheibe besteht aus einem flachen Schmiedeeisenringe, während der innere Theil

aus Aluminium gebildet ist, in welchem der feine Stahlschaft steckt, um den sich die Scheibe dreht. Das Kupferband besteht aus einer Anzahl von O-förmig ausgestanzten Blechen (in Fig. 142 B von der Seite sichtbar), welche vorn und hinten durch Nieten fest mit einander verbunden sind. Das Kupferband wird dem Eisen, ohne dieses zu berühren, möglichst nahe gebracht. Dicht um beide ist die in den Hauptstromkreis eingeschaltete Spule c gewickelt.

Fig. 142.



Haben b und c die in Fig. 142 A gezeichnete Stellung zu einander, so bestreben sich die in a und b erregten secundären Ströme, die Scheibe a in der Richtung der Pfeile zu drehen. Verschiebt man b derart, daß seine Axenrichtung $d d_1$ mehr vertical wird, so nimmt die der Scheibe a ertheilte Rotationsgeschwindigkeit ab. Stehen b und c senkrecht auf einander, so findet keine Induction statt und a steht still; dreht man b noch weiter nach links, so dreht sich a wieder, nun aber in entgegengesetzter Richtung. Die größte Geschwindigkeit wird bei 45 Grad erreicht, welche

Lagen durch die Linien d d' und e e' angedeutet sind. Die stärkste Induction findet statt, wenn b und c zu einander parallel stehen, aber in diesem Falle ist kein Drehungsbestreben vorhanden.

In der Gesammtansicht (Fig. 142B) sind die besprochenen Theile leicht wieder zu erkennen. Die Axe der Scheibe a setzt sich nach abwärts fort und trägt hier vier Windflügel, während sie nach oben zu mit einem Zählwerke verbunden ist. Die Umlaufsgeschwindigkeit der Scheibe nimmt, gleich bleibende Zahl der Stromwechsel vorausgesetzt, mit dem Quadrate der Stromstärke zu. Da nun auch der Luftwiderstand annähernd mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zunimmt, so entspricht die Geschwindigkeit von a dem im Hauptstromkreise fließenden Wechselstrome.

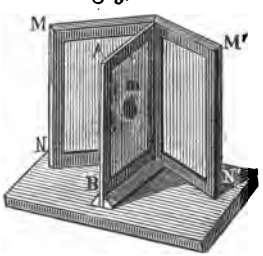
Es erübrigt uns, bevor wir von den Meßapparaten Abschied nehmen, noch einer Methode zu gedenken, welche uns gestattet, die Lichtstärke einer elektrischen Lampe zu bestimmen. Welcher Methode und welches Apparates man sich hierzu auch immer bedienen möge, so wird man zuerst stets eine Lichteinheit festzusetzen haben. Leider ist in dieser Richtung bis nunzu noch gar keine Einigung erzielt; jedes Land mißt fast unter Zugrundelegung einer anderen Einheit, und dazu kommt noch der weitere Uebelstand, daß diese Einheiten selbst durchaus keine mit der wünschenswerthen Genauigkeit immer und überall herstellbare Normalmaße darstellen.

In Deutschland nimmt man als Einheit häufig die »Vereinskerze«, eine Paraffinkerze von 20 mm Durchmesser, die eine 50 mm hohe Flamme erzeugt; ihr Docht ist aus 24 Baumwollfäden geflochten und wiegt pro Meter 0·668 g. In Frankreich rechnet man nach bestimmten Stearinkerzen oder

auch nach Carcelbrennern, in England gilt die Spermacetikerze u. s. w.

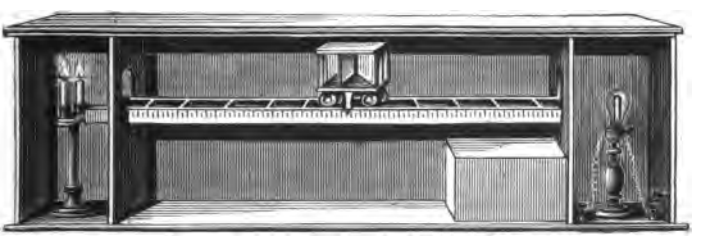
Edison benützt zur Lichtmessung bei seinen Glühlampen das von Bunsen erfundene und nach ihm benannte **Photometer** in seiner einfachsten Form. Auf einem Schirme A B (Fig. 143) aus weißem Papier befindet sich ein Stearinfleck m, welcher den Papierschirm an dieser Stelle durchscheinend macht. Stellt man nun auf jede Seite des Schirmes eine Lichtquelle und betrachtet eine, z. B. die rechte Seite des ersteren, so erscheint diese im Allgemeinen ungleichförmig beleuchtet. Die stearinfreie Fläche reflectirt die Strahlen der rechts gestellten Lichtquelle in das Auge und erscheint in der der Menge dieser reflectirten Strahlen entsprechenden Helligkeit; der Stearinfleck läßt hingegen die Lichtstrahlen der rechtsseitigen Lichtquelle zum größten Theile durch, und erscheint in einer Helligkeit, die der Menge jener Lichtstrahlen entspricht, welche die linksseitige Lichtquelle durch den Stearinfleck direct in das Auge sendet. Sonach wird der Stearinfleck heller erscheinen als die ihn umgebende ungetränkte Papierfläche, wenn die hinter dem Schirme (links) befindliche Lichtquelle stärker ist als die vordere, dunkler, wenn das Umgekehrte der Fall ist, und beide erscheinen gleich hell, wenn beide Lichtquellen gleich stark sind; man erkennt dies daran, daß dann der Stearinfleck unsichtbar wird. Der Lichtverlust, den die durchgehenden Strahlen durch Absorption erleiden, ist zwar nicht vollkommen gleich dem Lichtverluste, welchen die reflectirten Strahlen bei der Reflexion erleiden, doch braucht hierauf für praktische Zwecke

Fig. 143.



keine Rücksicht genommen zu werden. Sind die Lichtquellen von ungleicher Intensität, so kann das Verschwinden des Stearinfleckes durch Verschieben des Schirmes zwischen beiden Lichtern bewirkt werden, da sich hierdurch die Entfernungen ändern und die Intensität einer beleuchteten Fläche im Quadrate mit der Entfernung abnimmt. Um gleichzeitig beide Flächen des Papierblattes beobachten zu können, stellt man dieses zwischen den beiden Spiegeln M N und M' N' so auf, daß es den von letzteren eingeschlossenen Winkel

Fig. 144.



halbirt. Edison gab dem gesammten Meßapparate die in Fig. 144 dargestellte Form. Der Schirm mit seinen beiden Spiegeln kann durch Rollen auf dem Meßlineale verschoben werden und zeigt seine Stellung durch Einspielen eines Zeigers auf der Theilung an. Auf letzterer sind der Bequemlichkeit halber nicht die Entfernungen, sondern gleich die entsprechenden Lichtstärken angegeben. Die zu messende Lampe und die Vergleichsflamme stehen an den entgegengesetzten Enden des Meßlineales und die ganze Vorrichtung ist durch einen geschwärzten Kasten gegen das Eindringen fremden Lichtes geschützt.

Nicht so einfach gestaltet sich die Lichtmessung bei Bogenlichtern; hier wird die Messung erschwert durch die

bedeutende Helligkeit der zu messenden Lichtquelle gegenüber der Lichteinheit, durch das ungleichmäßige Ausstrahlen des Lichtes*) bei Erhaltung desselben durch gleichgerichtete Ströme und endlich durch die verschiedene Farbe der zu vergleichenden Lichter. Um die Ungenauigkeiten, welche durch die bedeutende Intensität der Bogenlichter verursacht werden, zu beheben, kann man sich einer Zwischenlichtquelle bedienen, z. B. einer entsprechenden Petroleumlampe, deren Lichtstärke man genau bestimmt und dann mit dem zu messenden Bogenlichte vergleicht. Um der ungleichförmigen Lichtausstrahlung wegen keine Fehler zu begehen, muß eben die Intensität in verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen gemessen werden. Den störenden Einfluß verschiedener Farben des zu vergleichenden Lichtes kann man u. a. auch in folgender, von J. Wybauw angegebenen Weise beseitigen. Die eine der beiden Flächen des Photometers, deren Beleuchtung mit jener der anderen verglichen wird, beleuchtet man direct durch die Strahlen der elektrischen Bogenlampe, die andere aber durch einen bekannten, beziehungsweise berechenbaren Bruchtheil derselben Strahlen, zu welchen dann so viel Licht von der Vergleichslichtquelle hinzugemischt wird, daß die Beleuchtung beider Flächen die gleiche ist; hierdurch ist dann der Farbenunterschied zum größten Theile aufgehoben. Auf diesem Principe beruht z. B. das in Bunsen'scher Art von H. Krüß construirte Compensations-Photometer.

Wir begnügen uns hier mit diesen Andeutungen über die Lichtmessung, sowie über die Messungen überhaupt, da ein weiteres Eingehen den Rahmen dieses Buches überschreiten würde.

*) Auch die Glühlampen strahlen nicht nach allen Richtungen hin gleiche Lichtmengen aus, doch sind hier die Unterschiede nicht so bedeutend wie bei Bogenlichtern.

4. Centralstationen für elektrische Beleuchtung.

Beginnen wir mit einer Centralstation für Bogenlicht, nämlich der **Brush Electric Light Station** in Philadelphia.*) Der zu ebener Erde gelegene Kesselraum enthält 16 Dampfkessel, welche zusammen 12 Dampfmaschinen verschiedener Systeme speisen; vier dieser Kessel dienen als Reserve. Unmittelbar über dem Raume für die Dampfmaschinen liegt jener für die elektrischen Maschinen. Er enthält 16 Maschinen für 60 und 2 für 30 Bogenlichter und eine für 75 Glühlichter. Diese in Fig. 145 dargestellte Aufstellung der Lichtmaschinen hat die Vortheile, daß letztere von allen Seiten zugänglich sind und die Riemen keinen Raum beanspruchen. Anderseits erfordert aber der ungünstige verticale Riemenantrieb die Anwendung von Spannrollen.

Die von den Maschinen erzeugten Ströme werden zu einem an der Wand angebrachten Schaltbrett geleitet, an dessen unterem Theile eine Anzahl biegsamer Leitungsschnüre mit Stöpseln hervorkommen, welche in ähnlicher Weise wie bei den Telephon-Centralen zur Herstellung der Verbindungen dienen. Die Schaltstellen für die Linien nehmen den oberen Theil des Brettes ein. Außerdem ist auf dem Schaltbrette für jede Linie ein Strommesser vorgesehen, ferner eine einfache Bussole zur Angabe der Stromrichtung, um etwaige Polumkehr der Lichtmaschinen sofort entdecken zu können. Auch der Erdschlußanzeiger fehlt nicht, wird aber begreiflicherweise nicht mit den hochgespannten Strömen der Lichtmaschinen, sondern durch eine Hilfsbatterie betrieben.

Im Jahre 1887 standen bereits 776 Bogenlampen in Betrieb, von welchen 607 industriellen Zwecken, die übrigen zur Beleuchtung der Straßen dienen. Nebenbei

*) Aus The Electrical World u. Centralblatt f. Elektrotechnik.

werden auch noch 192 Glühlampen (zu 90 V) unter Benützung von Brush-Regulatoren von den Bogenlichtstrom-

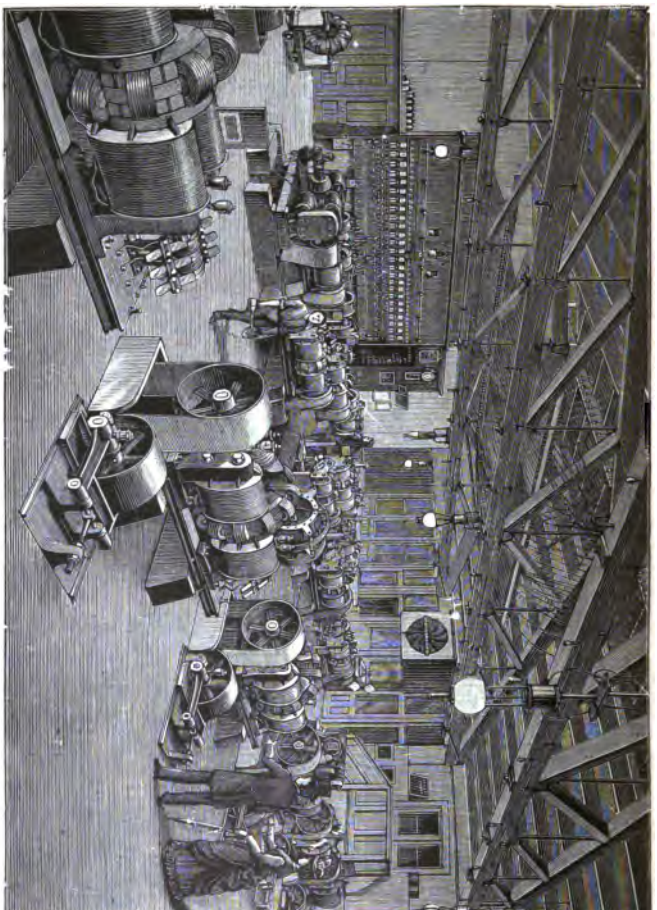


Fig. 146.

kreisen gespeist, ferner 48 Glühlampen unter Einschaltung von Ersatzwiderständen. Ferner wird die Station auch zur

Betreibung von 160 Stockwell- und 16 Edgerton-Motoren benützt. Das Leitungsnetz ist mehr als 106 km lang.

Die Großartigkeit dieser Anlage beweist, daß in den Vereinigten Staaten die Bogenlichtbeleuchtung auch im Centralbetriebe in gedeihlicher Entwicklung begriffen ist.

Besonderes Interesse verdient auch die Centrale für die elektrische Beleuchtung in Genf, da sie einen großen elektrischen Betrieb mit Turbinen darstellt.*) Das Maschinenhaus liegt zwischen dem Quartier l'Ile und der Pont de la Machine inmitten der Rhône, wo diese aus dem Genfersee strömt. Die Gesammtanlage ist auf 5 Turbinen mit 200 HP und 10 Lichtmaschinen berechnet; im Betriebe befinden sich bereits (1888) drei Turbinen mit 6 Lichtmaschinen. Da die Turbinen mit hohem Druck arbeiten, nehmen sie im Verhältnisse zu ihrer Leistung nur einen geringen Raum ein. Der Druck, unter welchem das Wasser ausströmt, beträgt 13·5 Atmosphären und wird auf dieser Höhe durch ein Wasserreservoir erhalten, welches 135 m über dem Seespiegel liegt. Die Turbinen besitzen horizontale Axen, die an ihren beiden Enden mit Schwungrädern und Kuppelungs-Muffen versehen sind und laufen mit einer Geschwindigkeit von 350 Umdrehungen in der Minute; je zwei Lichtmaschinen (System Thury) sind mit einer Turbine direct gekoppelt (Fig. 146).

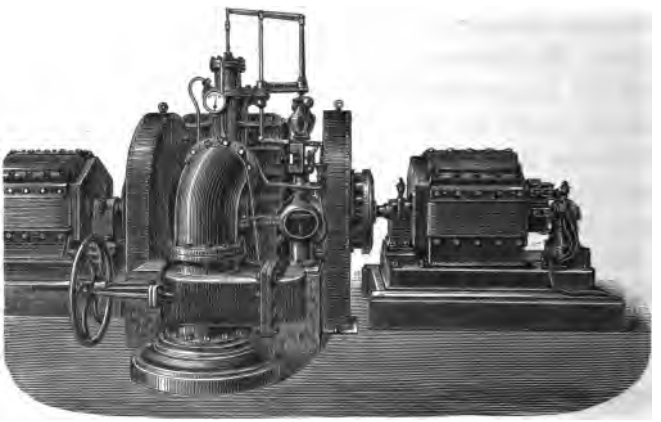
Die Stromvertheilung erfolgt unter Anwendung des Dreileitersystems bei einer Spannung von 220 V durch unterirdische verlegte Kabel von Siemens & Halske. Jedes dieser Kabel besteht aus drei concentrischen Leitern, welche von einander durch isolirende Schichten getrennt sind und von einer imprägnirten Faserschichte, einer Bleihülle,

*) La lumière électrique.

darauf wieder von einer imprägnirten Umspinnung, einem darüber gewundenen Stahlbande und endlich von einer dieses wieder bedeckenden, imprägnirten Umhüllung eingeschlossen werden.

Vorläufig erstreckt sich das Kabelnetz nur über einen Theil der Stadt am linken Ufer der Rhône. Es besteht aus fünf Haupt- oder Speiseleitungen, welche zu den Punkten I,

Fig. 146.



II, III, IV, V (Fig. 147) geführt sind und den von diesen ausgehenden secundären oder Vertheilungsleitungen. Die Hauptleitung V, welche auch für die Beleuchtung des Theaters den Strom zu liefern hat, ist von den anderen unabhängig und die Regulirung der Spannung in diesem Netze erfolgt automatisch. Die von den anderen Punkten ausgehenden Vertheilungsleitungen sind jedoch alle unter einander durch Hilfsleitungen verbunden.

Die Stromvertheilung wird mittelst eines Schaltbrettes (Fig. 148) in folgender Weise durchgeführt. Jede Maschinen-

gruppe von zwei hintereinander geschalteten Lichtmaschinen und jede der letzteren ist mit den horizontalen Vertheilungsschienen des Schaltbrettes durch drei Kabeln derart verbunden, daß zwei für den Hauptstrom dienen, eines für den Erregerstrom, der im Nebenschlusse geschalteten Magnete bleibt; in diesem Nebenschlusse befindet sich auch ein Rheostat. Die in der Figur unten sichtbaren Kurbeln dieser Widerstände können sowohl jede für sich als auch gemeinsam gedreht werden; letzteres ist durch Zahnräder und in diese eingreifende Wurmschrauben auf gemeinsamer Welle ermöglicht. Jede der beiden zu den Vertheilungsschienen führenden Hauptstromleitungen ist mit einem Unterbrecher versehen. Einer derselben wirkt automatisch und unterbricht die Verbindung, wenn der Strom unbeabsichtigt die Richtung wechselt. Ober den Vertheilungsschienen vertheilt sich der Strom in so oftmal drei Leitungen (eine +, eine — und eine Ausgleichsleitung), als Speiseleitungen die Centrale verlassen. Jeder dieser Leiter ist wieder mit einem Unterbrecher versehen, außerdem auch noch mit einer Bleisicherung und einem Contactknopfe, welcher den Retourdraht mit dem Voltmeter verbindet. Die positive und die negative Leitung sind auch noch mit Ampèremeter ausgerüstet.

In mehrfacher Richtung interessant ist die gemeinsame Centrale in **Béconne** für die elektrische Beleuchtung der beiden von einander ungefähr 16 km entfernten Städte Dieulefit (Drôme) und Valréas (Vaucluse) im südöstlichen Frankreich.*) Die Betriebskraft liefert das in die Rhône mündende Flüßchen Lez durch einen Wasserfall bei Béconne, welches 5 km von Dieulefit und 15 km von Valréas entfernt ist. Das Wasser wird durch einen Canal in ein

*) L'électricité.

Reservoir von 13.000 cbm Fassungsraum geleitet und hat eine ausnützbare Fallhöhe von 25 m. Die für eine unvorhergesehene Beschädigung des Canales durch dieses Reservoir

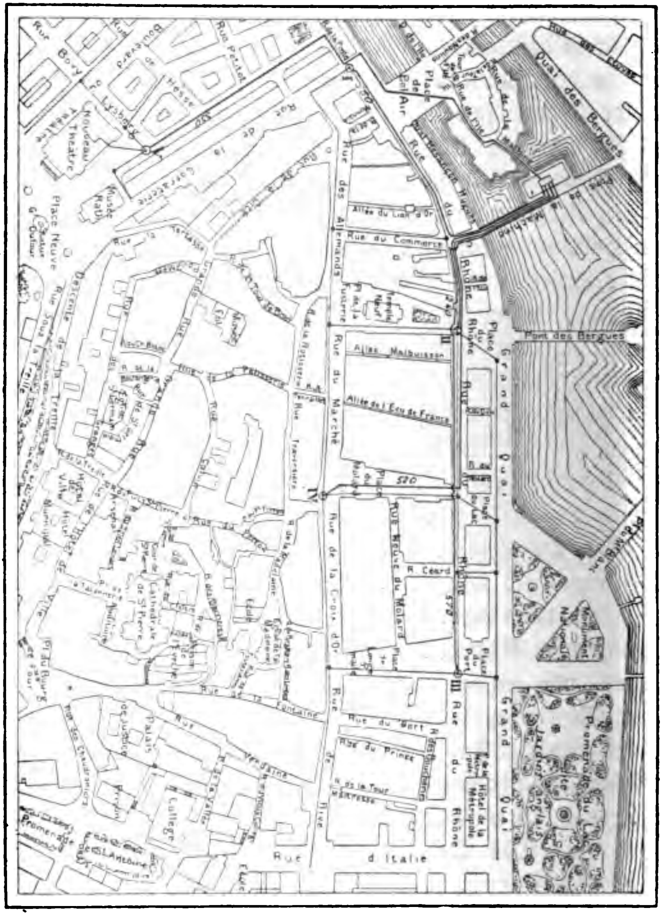


Fig. 147.

gebildete Reserve entspricht einer für die Beleuchtung auch dann noch 12 Stunden lang wirkenden Kraft von 100 HP. Vom

Fig. 148.

Reservoir aus fließt das Wasser durch ein gußeisernes Rohr von 80 cm Durchmesser zu zwei Turbinen mit horizontalen Axen,

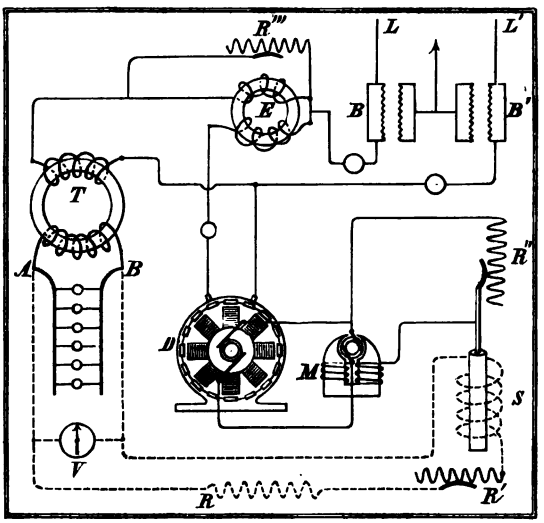
die 180 Umdrehungen in der Minute machen und je 50 HP entwickeln. Jede derselben treibt eine Wechselstrommaschine (Zipernowsky) von 2000 V und 12 A und eine kleinere Erregermaschine von 80 V und 30 A. Eine dritte Turbine sammt Lichtmaschine wird die Reserve bilden.

Da die zu beleuchtenden Orte entfernt von der Centrale liegen, so bestand die zu lösende Aufgabe nicht nur in einer Vertheilung, sondern auch in der Uebertragung der elektrischen Energie auf große Entfernungen. Man wählte hierzu die Transformatoren der Firma Ganz & Co. (S. 108). Der langen Leitungen wegen, die den ansehnlichen Widerstand von 14 bis 15 Ω besitzen, mußte eine Regulirungsvorrichtung zur Anwendung gelangen, welche die erforderliche Spannung der Ströme unabhängig von dem jeweiligen Bedarf beständig auf der erforderlichen Höhe erhält. Die Verhältnisse für die Stromvertheilung liegen in den beiden Städten vollkommen verschieden. Dieulefit breitet sich vorwiegend nach einer Richtung hin aus, so daß dadurch für die zwei am weitesten von einander abstehenden Lampen die bedeutende Entfernung von 3 km besteht; hier wurden, um eine gleichmäßige mittlere Spannung für alle Lampen zu erhalten, die sechs secundären Stromkreise der Transformatoren mit einander verbunden. Valréas ist hingegen regelmäßiger gebaut und daher wurden drei selbstständige Stromkreise angeordnet, so zwar, daß die neun Transformatoren durch je drei secundäre Leitungen mit einem dieser Stromkreise verbunden sind. Die Spannung an den primären Klemmen der Transformatoren beträgt 1750 V, jene an den secundären 95 V.

Die Regulirung der Spannung erfolgt in nachstehender Weise. Man sorgt dafür, daß die Lampen in der Centrale in derselben Weise brennen, wie jene in der Stadt und er-

hält für erstere (und somit auch für letztere) eine constante Spannung. Zu diesem Behufe werden die Lampen der Centrale durch einen Transformator T (Fig. 149) gespeist, welcher mit den Linienleitungen LL' parallel verbunden ist, aber unter Einschaltung einer Ausgleichsvorrichtung, eines

Fig. 149.



Egalisators E. Dieser stellt einen Transformator dar, dessen primäre Windungen vom Hauptstrome durchflossen werden und dessen secundärer Stromkreis zu demselben parallel geschaltet ist. Infolge dieser Anordnung ist die Spannung im primären Stromkreise des Transformators T, gleich der Spannung des Maschinenstromes, vermehrt oder vermindert um die durch die angegebene Einschaltung des Egalisators E bestimmte Spannung; der Egalisator wirkt hierbei natürlich

nach dem Differentialprincipe. Seine Thätigkeit wird mit Hilfe des Widerstandes R''' so regulirt, daß sie den Spannungsverlusten auf der Linienleitung L L' proportional erfolgt.

Die Spannung an den Klemmen A B der Lampenleitung in der Centrale ändert sich mit der Spannung der Stadtlampen in der Weise, daß die Spannung abnimmt, wenn der Stromverbrauch in der Stadt zunimmt; man erhält sie aber constant, indem man auf die Erregung der Elektromagnete der Dynamo D einwirkt. Dies wird im vorliegenden Falle nicht durch die Hand, sondern automatisch bewerkstelligt. Die Enden des Solenoides S sind unter Einschaltung der Widerstände R R' mit den Klemmen A B verbunden. Indem nun der Eisenkern des Solenoides mehr oder minder kräftig angezogen wird, schaltet er größere oder geringere Widerstände des Rheostaten R'' in den Stromkreis der Erregermaschine M und schwächt oder verstärkt dadurch den Strom derselben. Zu der Skizze in Fig. 149 möge noch bemerkt werden, daß B und B' die Blitzschutzvorrichtungen für die Linienleitungen darstellen.

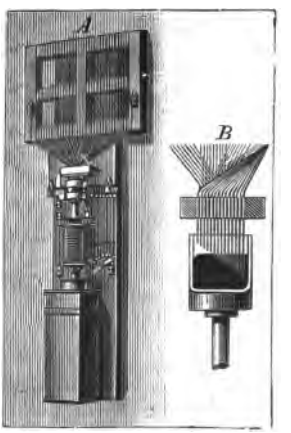
Die Construction des Regulators*) ist aus Fig. 150 A und B ersichtlich. Der Eisenkern des Solenoides trägt an seinem oberen Ende ein theilweise mit Quecksilber gefülltes Gefäß. In dieses tauchen mit den Widerständen aus Neusilberdraht verbundene, der Reihe nach an Länge abnehmende Metallstäbe. Um den Eisenkern im Gleichgewichte zu erhalten, ist sein unteres Ende mit einem Schwimmer versehen, der in das rechteckige, mit Wasser gefüllte Gefäß taucht. Das durch die Bewegung des Eisenkernes bewirkte Senken und Heben des Quecksilbergefäßes bewirkt dann die Ein- oder Ausschaltung von Widerständen in den Stromkreis der Erregermaschine.

*) Electrical World.

Die eben beschriebene Regulirung besteht selbstständig für jede der beiden gleichfalls von einander unabhängigen Linienleitungen und elektrischen Maschinen.

Die Leitungen sind aus Silicium-Bronzedraht von 3·2 mm Durchmesser für die kurze Leitung von Béconne nach Dieulefit und aus Kabeln mit dem gleichen Widerstande für die lange Leitung nach Valréas. Die Leitungen sind alle blank auf Telegraphensäulen mit Porzellandoppelglocken geführt. In den Straßen sind die primären Leitungen stets so hoch als möglich (auf den Dächern) angebracht und die Transformatoren, in Kästen aus Zinkblech eingeschlossen, auf Consolen befestigt, die in die Mauern eingelassen wurden. (Fig. 151.)

Fig. 150.



Auch die secundären Leitungen bestehen aus blanken Drähten, die nur bei ihrem Eintritte in die Straßenlaternen oder in die Häuser sorgfältig isolirt sind; hier werden sie in Holzleisten geführt und sind überhaupt an keinem Punkte zugänglich.

Schließlich mag noch bemerkt werden, daß beide Städte durch eine Telephonleitung mit einander und mit der Centrale in Verbindung stehen, um jederzeit eine bequeme Verständigung zu ermöglichen und daß zur Zeit der Betriebseröffnung (Ende December 1888) von den 12 Transformatoren, welche für jede Stadt vorgesehen sind, in Dieulefit 6 und in Valréas 9 in Thätigkeit gesetzt wurden.

Es wurden bereits weiter oben die verschiedenen Verwendungsarten der Secundärelemente ausführlich besprochen, wie z. B. ihre Verwendung als Transformirungsapparate,

Fig. 151.

als vorzügliche Regulatoren und als Ergänzung einer Maschinenanlage. Nachstehend möge nun auf drei bedeutende Beleuchtungsanlagen kurz hingewiesen werden, welche uns diese drei Verwendungsarten der Secundärelemente im praktischen Betriebe darstellen. Es sind dies die Beleuchtungs-

anlagen für die Wiener Hoftheater, für das Pariser Rathhaus und für die Stadt Barmen.

Für die **Wiener Hoftheater** lag die Aufgabe so, daß man ein absolut sicheres und ruhiges Licht verlangte, dabei aber jedwelche Maschinenanlage in den genannten Gebäuden zum Betriebe der Beleuchtung ausschloß. Man erreichte dies dadurch, daß man sich für die Anwendung des Systems Turettini entschied. Turettini erzeugt nämlich in der Centralstation gleichgerichtete Ströme von entsprechend hoher Spannung und leitet diese durch hintereinander oder auch durch parallel geschaltete Secundärbatterien. Diese bilden dann secundäre Stationen, von welchen aus Ströme der gewünschten geringen Spannung den einzelnen Lampenkreisen zugeführt werden.

In den Kellerräumen des Hofburgtheaters in Wien sind 540 Accumulatoren von Schenek-Farbaky aufgestellt, die in drei Batterien parallel geschaltet sind, von denen eine der Bühne reservirt ist, während die beiden anderen den Strom für den Zuschauerraum und die anderen Theile des Gebäudes liefern. Das vom Stromvertheilungsraume ausgehende Kabelnetz hat eine Gesammtlänge von 110 km und versorgt 5300 Glühlampen und 15 Bogenlampen mit Strom. Die Ströme, welche die Ladung der Accumulatoren im Hofburgtheater und im Opernhause bewirken, werden in einer Centralstation erzeugt und durch je vier unterirdische Bleikabel (immer 2 zur Hin- und 2 zur Rückleitung), von welchen jedes einen Kupferquerschnitt von 250 qmm besitzt, geführt.

Im Pariser Rathhause wurde die Aufstellung regulirender Secundärbatterien infolge der Beschaffenheit der maschinellen Anlage erforderlich.*) Diese besteht nämlich aus

*) Uppenborn, Centralblatt f. Elektrotechnik.

drei Gramme'schen Lichtmaschinen und vier fahrbaren Dampfmaschinen, welche 130 HP erzeugen und ist in einem

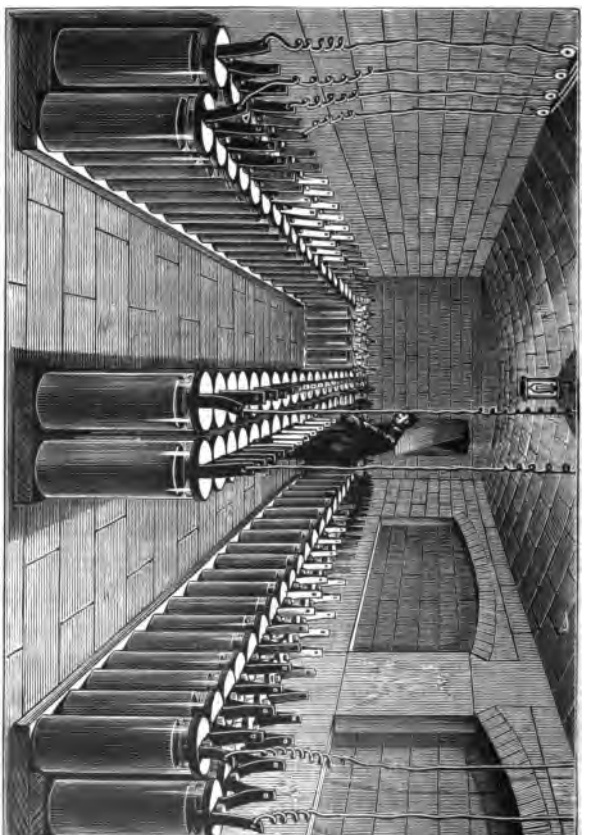


Fig. 152.

Zubau untergebracht. Aufgabe der Secundärelemente ist es nun, die bei dem Betriebe einer derartigen Anlage unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten auszugleichen.

Die Batterie besteht aus 165 Zellen von etwa 26 cm Durchmesser und 80 cm Höhe; jede Zelle vermag 240 A bei einer Spannung von 1·9 V zu liefern. Die Kraft der ganzen Batterie beträgt daher etwas über 75.000 VA oder über 100 HP. Diese Zellen haben die Bestimmung, 2200 Edison-Lampen im Festsaale und den benachbarten Räumlichkeiten des Rathhauses zu speisen. Sie wiegen zusammen 11 Tonnen und enthalten 4500 Liter Flüssigkeit.

Bemerkenswerth an dieser Anlage ist auch, daß die Zellen nach dem ursprünglichen Typus Planté gebaut wurden (Fig. 152)*) und nur jene kleinen Abänderungen erfahren haben, die der praktische Betrieb erfordert. So ist die Isolirung der Platten durch eine dreifache Belegung mit Baumwolle, Hanf und Wolle gesichert; die Glasgefäße sind gegen innere und äußere Stöße durch Watte und Filz geschützt; die Elektroden jeder Zelle wurden durch Flanschen verstärkt und je eine der Elektroden ist geriffelt, um den Gasen einen Ausweg durch den Deckel zu gestatten. Es sind auch Vorkehrungen getroffen, um das sich in den Zellen entwickelnde Wasserstoffgas abzuleiten und so die Bildung explosibler Gasgemische hintanzuhalten.

Das Elektricitätswerk in Barmen**) wurde für den Betrieb von 6000 gleichzeitig brennenden Glühlampen zu 16 NK berechnet und hierfür vorgesehen: ein unterirdisches Vertheilungsnetz nach dem Dreileitersystem, sechs Paare Lichtmaschinen (Schuckert) für je 84.000 VA, sechs Dampfmaschinen zu je 100 HP Normalleistung und eine Secundärbatterie mit 8800 Brennstunden 16kerziger Glühlampen Capacität. Hiervon wurden anfangs December 1888 in Betrieb gesetzt: ein Leitungsnetz für 5000 Lampen, ein

*) La Nature.

**) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.

Drittel der Licht- und Dampfmaschinen und die Hälfte der Batterie.

Die vorläufig aufgestellte Secundärbatterie (System Tudor von Büsche & Müller) ist nach vollendeter Ladung im Stande 880 Glühlampen zu 16 NK oder deren Aequivalent 5 Stunden lang zu speisen. Dieselbe dient dem doppelten Zwecke, einerseits eine ununterbrochene Stromlieferung zu gewähren, anderseits für die Dauer des Maximalverbrauches die Leistungsfähigkeit der Maschinenanlage zu erhöhen, beziehungsweise als Reserve zu dienen.

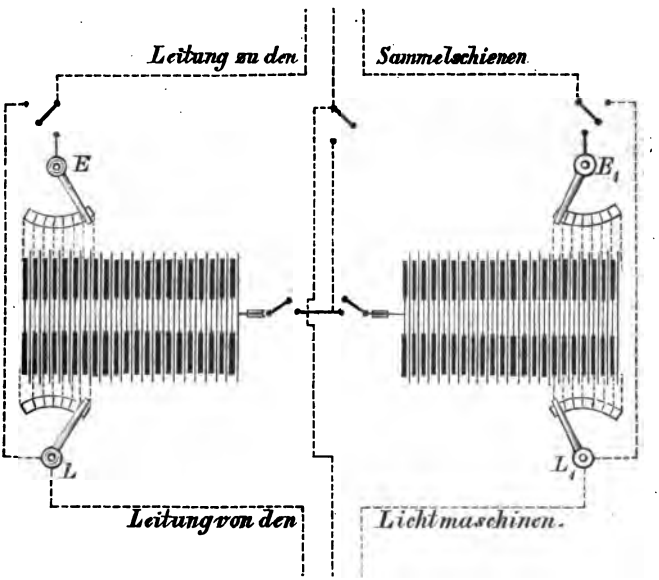
Die Secundärelemente sind nach dem Schema Fig. 153 *) mit den Schuckert'schen Maschinen verbunden; der Strom geht von letzteren zu den Ladehebeln $L L_1$ und die Stromentnahme geschieht durch die Entladehebel $E E_1$. Durch diese Anordnung erreicht man, daß die Maschinen mit gleichbleibender Belastung arbeiten, während die Secundärelemente den jeweiligen Unterschied zwischen Erzeugung und Verbrauch der elektrischen Energie ausgleichen, indem sie solche, wenn überschüssig, aufnehmen, wenn unzulänglich, ergänzen; hierbei erfolgt diese Regulirung ohne Anwendung Energie verzehrender Widerstände. Selbstthätige Ausschalter für die Maschinen unterbrechen deren Leitung, sobald der Ladestrom unter einen gewissen Werth herabsinkt. Ferner sind für jeden Hauptstromkreis zwei selbstthätige Fernspannungs-Regulatoren angeordnet, um eine ungleiche Spannungsabnahme in den beiden Hälften des Dreileitersystems (welche infolge ungleichen Verbrauches eintreten kann) auszugleichen.

Das Leitungsnetz bildet 12 Stromkreise und besitzt eine Gesammtlänge von 48 km, bei Entfernungen zwischen

*) Nach Uppenborn's Centralblatt für Elektrotechnik.

Station und Verbrauchsstelle bis zu 1100 m. Die Leitungen bilden, jede für sich, unterirdische Kabel mit doppeltem Bleimantel und Eisenband-Armatur.

Fig. 153.



5. Anwendungen des elektrischen Lichtes.

In einem Werke, wie im vorliegenden, dessen Umfang ein so engbegrenzter ist, kann es natürlich nicht beabsichtigt werden, alle Anwendungen des elektrischen Lichtes auch nur andeutungsweise zu besprechen. Sie sind übrigens heute bereits so zahlreich und mannigfaltig und werden durch neu hinzutretende täglich noch so vermehrt, daß selbst für eine einfache Aufzählung Vollständigkeit nicht zu erreichen

ist. Und so wollen wir uns auch damit begnügen, im Nachstehenden nur auf einzelne, ganz specielle und daher nicht so ganz allgemein bekannte Anwendungen hinzuweisen, dabei aber vom Hause aus darauf verzichten, Anwendungen des elektrischen Lichtes zu schildern, welche gegenwärtig bereits gewissermaßen zu den alltäglichen zählen, wie z. B. die Beleuchtung öffentlicher oder privater Straßen, Plätze und Gärten, die Beleuchtung von Wohnungen, Speiseräumen, Bierhallen, Vergnügungsräumen irgend welcher Art, von Concertsälen und Theatern, Fabriken, Werkstätten, Kaufläden, Schulen, Amtsräumen u. s. w.

Bei den **Eisenbahnen** erfreut sich das elektrische Licht schon sehr ausgedehnter Anwendung. Die großen Bahnhöfe sind zum großen Theile elektrisch beleuchtet und gewöhnlich auch die mit ihnen verbundenen ausgedehnten Netze der Rangirgeleise. Auf Secundärbahnen tragen die Locomotive an ihrer Stirnseite eine elektrische Bogenlampe, um in der Nacht durch helle Beleuchtung der zu durchfahrenden Strecken zu ersetzen, was Normalbahnen durch ausgedehntere stabile Einrichtungen zur Sicherung des Zuges und der den Bahnkörper übersetzenden Personen aufwenden. Die meisten größeren Bahnunternehmungen sind mit transportablen Beleuchtungsanlagen ausgerüstet, die dazu bestimmt sind, bei Unfällen irgendwelcher Art, bei dringenden Arbeiten, bei Truppentransporten u. s. w. eine rasche Aufstellung und Inbetriebsetzung einer elektrischen Beleuchtungsanlage zu ermöglichen. Der ganze Apparat ist dabei gewöhnlich derart zusammengestellt, daß auch die Bewegung desselben außerhalb des Schienenweges, d. h. auf gewöhnlichen Straßen keine besonderen Schwierigkeiten verursacht.

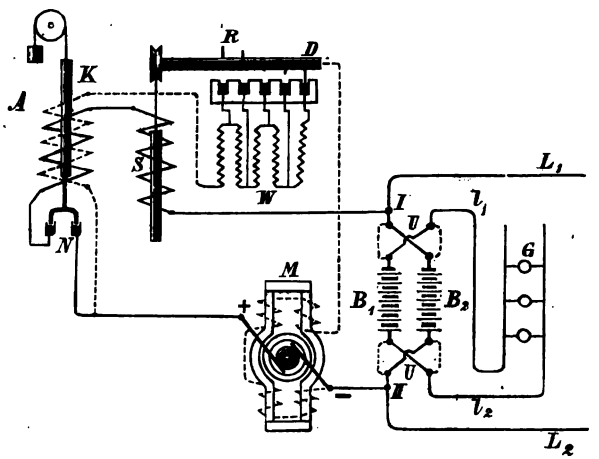
Seit längerer Zeit wendet man auch der **Innenbeleuchtung der Personenwagen** größere Aufmerksamkeit zu,

und zwar um so mehr, als der Zusammenstoß zweier Züge bei Wannsee gezeigt hat, daß bei derartigen Unfällen das mitgeführte Gas explodiren und dann entsetzliche Folgen herbeiführen kann. Wenn man in dieser Richtung bisher noch keine allzu großen Erfolge erzielt hat, trotzdem bereits viele Bahnverwaltungen seit längerer Zeit eingehende Versuche anstellen ließen, so liegt dies an den besonderen Schwierigkeiten, welche bei der Anlage und beim Betriebe einer so eigenartigen Anlage zu überwinden sind. Ohne näher hierauf einzugehen, möge nur ganz allgemein bemerkt werden, daß die Glühlampe gleichmäßig brennen soll, gleichgiltig ob der Zug steht, sich langsam oder schnell vor- oder rückwärts bewegt, ob die Locomotive mit dem Zuge verbunden ist oder denselben verlassen hat und ob die einzelnen Wagen absichtlich oder unabsichtlich von einander getrennt sind oder nicht. Statt alle Vorschläge und Versuche, welche hierauf abzielten, anzuführen und zu besprechen, mag nachstehend eine derartige Beleuchtung skizzirt werden, die guten Erfolg erzielt haben soll. Es ist dies das System der elektrotechnischen Fabrik Cannstatt.

Bei diesem Systeme erhalten die Lampen in den einzelnen Wagen ihren Strom von einer Lichtmaschine, welche durch einen Riemen von der Wagenaxe angetrieben wird oder von Secundärbatterien, welche in jedem Wagen sich befinden. Ersteres erfolgt, wenn der Zug mit normaler Geschwindigkeit fährt, letzteres, wenn er steht oder mit geringerer Geschwindigkeit sich bewegt. Um dies zu vermitteln, gelangen ein selbstthätiger Ausschalter und ein ebensolcher Regulator zur Verwendung. Die Verbindung und die Wirkungsweise dieser Theile kann aus Fig. 154 ersehen werden. Die Lichtmaschine M ist eine Nebenschlußmaschine, deren Polklemmen + und — mit den Hauptleitungen L_1 L_2,

welche von Wagen zu Wagen gehen, verbunden sind. In die Leitung L_1 sind der Ausschalter A und der Regulator R eingeschaltet, und beide Leitungen L_1 L_2 durch die parallel geschalteten Secundärbatterien B_1 B_2 und die Glühlampen G mit einander verbunden. Im Nebenschlusse (punktirte Linien) zu diesem Hauptstromkreise liegen die Elektromagnet-

Fig. 154.



schenkel der Maschine, die Widerstände W des Regulators R und ein Theil der Solenoidwindungen des Ausschalters A.

Erreicht der Zug genügende Geschwindigkeit (d. h. 30 km in der Stunde), so beginnt die Anlage in folgender Weise normal zu arbeiten. Der Strom fließt von der Klemme — durch die Elektromagnete, die Widerstände W des Regulators und durch einen (gestrichelten) Theil der Solenoidwindungen im Ausschalter A zur + Klemme der Maschine. Hierdurch wird der Eisenkern K, der durch ein Gegengewicht ausbalancirt ist, in das Solenoid hineingezogen und setzt

durch seinen bügelförmigen Ansatz die beiden mit Quecksilber gefüllten Näpfe N in leitende Verbindung. Jetzt ist der Hauptstromkreis geschlossen und der Hauptstrom nimmt nicht mehr den eben angegebenen, sondern folgenden Verlauf: Von der + Klemme über N, einen Theil der Solenoidwindungen in A und die Solenoidwindungen S in R nach I; von der — Klemme direct nach II. Von I und II aus vertheilt sich der Strom mit Hilfe der Leiter L_1 L_2 den Widerständen entsprechend auf die parallel geschalteten Batterien B_1 B_2 und Lampen G in den einzelnen Wagen. Im (punktirt gezeichneten) Nebenschlusse herrscht nun eine verhältnißmäßig geringe Stromstärke. Der Eisenkern k des Ausschalters behält aber trotzdem seine tiefe Stellung bei und erhält dadurch den Schluß des Hauptstromkreises bei N, weil jetzt die in den Hauptstromkreis geschaltete Hälfte der Solenoidwindungen in A Anziehungskraft erlangt hat. Ueberschreitet die Lichtmaschine die normale Umdrehungsgeschwindigkeit, so wird die Stromstärke durch den Regulator R selbstthätig regulirt. Der Stromstärke entsprechend, zieht nämlich das Solenoid S seinen Eisenkern mehr oder weniger tief hinein und bewirkt damit die Drehung der mit der Nebenschlußleitung verbundenen Daumenwelle D; da die den einzelnen Daumen gegenüberstehenden Quecksilbernäpfe mit den Enden der Widerstände W entsprechend verbunden sind, so wird hierdurch eine größere oder geringere Anzahl von Spiralen des Widerstandes W in den Stromkreis der Erregermagnete von M eingeschaltet.

Sinkt hingegen die Stromstärke unter das zulässige Maß, so reicht die auf den Eisenkern K ausgeübte Anziehungskraft nicht mehr hin, um die Wirkung des Gegengewichtes zu überwinden, der Kern steigt aus dem Solenoide empor und unterbricht den Hauptstromkreis bei N. Von der

Maschine aus können daher über I und II keine Ströme mehr in die Batterien oder Lampen gelangen. Da letztere aber unter einander verbunden bleiben, so senden nunmehr die Batterien Ströme in die Leitungen L_1 L_2 und speisen somit auch die Lampen G.

Ist in jedem Wagen nur eine Secundärbatterie B_1 aufgestellt, so genügt diese Anordnung unter der Voraussetzung, daß die Wagen nicht von einander getrennt, d. h. daß die Leitungen L_1 L_2 an keiner Stelle unterbrochen werden. Soll jedoch auch für diesen Fall die Beleuchtung jedes einzelnen Wagens gesichert werden, so hat jeder Wagen zwei Batterien B_1 B_2 zu erhalten, welche durch Umschalter U mit den Hauptleitungen I L_1, II L_2 und den im betreffenden Wagen allein verlaufenden Leitungen l_1 l_2 zu verbinden sind. Die durch diese Umschalter ermöglichten Verbindungen sind durch punktirt gezeichnete Bügel angedeutet und leicht verständlich.

Um die oben gestellten Bedingungen zu erfüllen, muß aber auch noch die Lichtmaschine derart wirken, daß sie stets Ströme derselben Richtung in die Leitungen sendet, gleichgiltig, nach welcher Richtung der Wagen rollt und daher seine Axe und mit dieser die Armatur der Maschine rotirt. Dies wird erfüllt durch eine selbstthätige Einstellung der Bürsten. Die Contactbürsten sind nämlich senkrecht auf den Stromsammler gestellt und werden durch die Reibung auf demselben in der einen oder anderen Drehungsrichtung mitgedreht, bis sie gegen einen entsprechend gestellten Anschlag stoßen, welcher sie in dieser Stellung festhält, so lange die Armatur dieselbe Drehungsrichtung beibehält.

Eine hervorragende Rolle spielt das elektrische Licht bereits gegenwärtig im Seewesen. Ganz abgesehen davon, daß wohl kaum mehr ein Kriegsschiff von irgend welcher Bedeutung

ohne elektrischen Beleuchtungsapparat existiren dürfte und daß auch alle Kriegshäfen mit solchem versehen sind, mehren sich auch die diesbezüglichen, dem Dienste der civilen Seeschifffahrt gewidmeten Einrichtungen außerordentlich rasch. Neue Schiffe und neue Leuchtthürme dürften heute wohl kaum mehr gebaut werden, ohne daß man sie mit elektrischem Lichte ausstattet. Auch auf bereits bestehenden Leuchtthürmen hat man vielfach die alten Lampen durch elektrisches Licht ersetzt und zahlreiche Schiffe sind nachträglich damit versehen worden.

Das elektrische Licht dient gegenwärtig nicht nur auf Leuchtthürmen, sondern auch zur Beleuchtung von Häfen, Docks, Bojen, bei unterseeischen Arbeiten u. s. w. Im Hafen von Havre können z. B. die Schiffe nur zur Zeit der Flut einlaufen. Fällt nun von den zweimaligen Fluten eine in die Nacht, so konnte es geschehen, daß ein Schiff, welches eben nach der Tagesflut ankommt, nahezu 23 Stunden bis zum Eintreten der nächsten Tagesflut mit dem Einlaufen in den Hafen warten mußte, da die Dunkelheit während der Nacht dasselbe nicht gestattete. Dieser bedeutende Uebelstand ist seit dem Jahre 1881 durch Einführung der elektrischen Beleuchtung beseitigt.

Ein anderes Beispiel: Der Hafen von New-York gilt als einer der besten auf der Welt; trotzdem war er für die tiefgehenden großen Oceandampfer Nachts unzugänglich, da die bei Tag zwar gut erkennbare Markirung des sogenannten Gedney-Canales durch entsprechend angebrachte Bojen in der Nacht wegen unzulänglicher Beleuchtung nicht wahrgenommen wird. Mußte daher ein derartiger Dampfer, der in 6 Tagen die Ueberfahrt bewerkstelligt hatte, nun mitunter 6 Stunden außer dem Hafen liegen bleiben, so bedeutete dies eine sehr erhebliche Verzögerung und daher auch ganz bedeutende Auslagen. Diese Erwägungen führten nun zur Beleuchtung der

Bojen mit lichtstarken Glühlampen, welchen durch unterseeische Kabel der elektrische Strom vom Lande aus zugeführt wird.

Fig. 155 *) zeigt eine der mit elektrischer Glühlampe versehenen Spierbojen, wie sie verwendet werden. Sie sind in einer Länge von 45 Fuß aus einer Wachholderart hergestellt, die sich durch schlanken Wuchs und erhebliche Schwimmkraft auszeichnet. Auf dem Meeresgrunde sind sie an einem 4500 Pfund schweren halbkugelförmigen Gußstücke befestigt, während das obere Ende die Glühlampe mit ihrem Schutzmantel trägt. Dieser obere Theil ist in Fig. 156 dargestellt. Die Glühlampe, welche eine Lichtstärke von 100 Kerzen besitzt, ist von einer Laterne eingeschlossen, die aus einem Messinggestelle mit eingesetzten gekrümmten Gläsern besteht. Um die Laterne zu schützen und das Hinwegtreiben von Eis oder Treibholz über die Boje zu ermöglichen, ohne daß diese hierbei gefährdet wird, ist sie von eigenthümlich gekrümmten bandartigen Eisenrippen umschlossen, die oben und unten von eisernen Reifen zusammengehalten werden. Das Kabel wird von der Lampe aus in einer tiefen Nuth der Boje geführt und läuft dann von jeder Boje aus in den gußeisernen Verbindungskasten, wo es mit einem der drei Kerne, der aus der Station kommenden dreifachen Kabel verbunden ist. Die Leitungen besitzen eine Gesammtlänge von 32.000 Fuß für das dreifache Kabel und von 15.000 Fuß für die einzelnen Zuführkabel.

Was die Anwendung des elektrischen Lichtes auf den Schiffen selbst betrifft, so kann diese eine sehr verschiedenartige sein, wenn wir auch hier wieder von Einrichtungen für militärische Zwecke absehen. So hat es bereits Verwendung

*) Electrical World.

gefunden zur Innenbord-Beleuchtung, also zur Beleuchtung der Salons, Speisezimmer, Lesezimmer u. s. w. und zur Außenbord-Beleuchtung, und zwar zum Löschen und Laden

Fig. 155.

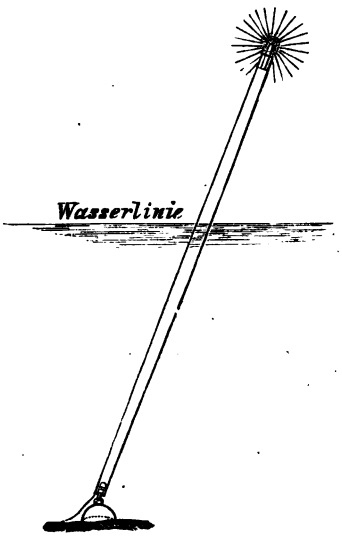
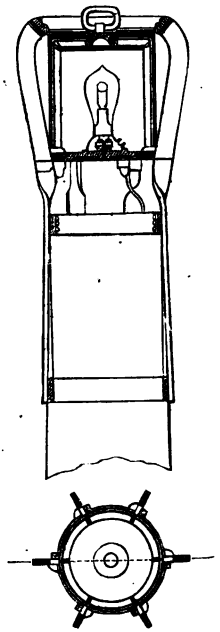


Fig. 156.



der Waaren, als Signallicht, als Suchlicht, zur Beleuchtung der Fahrstraße u. s. w. Als bemerkenswerthes Beispiel dieser Verwendungsart des elektrischen Lichtes mag dessen Verwendung zur nächtlichen Durchschiffung des Suez-Canales angeführt werden.*).

*) Electrical review.

Der Suez-Canal (Fig. 157) ist 140 km lang und am Wasserspiegel gegen 22 m breit, bei einer Tiefe von 8 bis 9 m. In dem auf die Eröffnung gefolgten Jahre 1870 passirten nur 496 Schiffe den Canal, in den zwei darauf gefolgten Jahren 1000 und endlich im Jahre 1885 bereits 3624 Schiffe mit einem Gesammtgehalt von 9,000.000 Tonnen. Infolge dieses bedeutenden Verkehrs, der geringen Breite des Canales und des Umstandes, daß die Schiffe die Fahrgeschwindigkeit von 10 km pro Stunde nicht überschreiten dürfen, stellte sich bald die Unzulänglichkeit des Canales heraus. Dies führte dazu, daß man daran ging, mit Hilfe des elektrischen Lichtes den Canal auch des Nachts zu befahren und dadurch eine bessere Ausnützung desselben zu ermöglichen. Seit dem Jahre 1887 gestattet nun die Gesellschaft den Schiffen auch die nächtliche Durchfahrt, wenn sie außer den gewöhnlichen Bedingungen auch noch folgende erfüllen. Sie müssen vorne, möglichst nahe der Wasserfläche, ein Sucherlicht tragen, welches den Canal auf 1200 m beleuchtet; eine zweite am Maste zu befestigende Lampe muß einen Kreis von 200 m Durchmesser zu beleuchten vermögen. Bei gewissen Signalen müssen beide Lampen sofort ausgelöscht werden.

Da nun nicht alle Schiffe mit elektrischen Beleuchtungsanlagen ausgerüstet sind, welche ihnen die Erfüllung dieser Bedingungen ermöglichen, so wurde von der Brush-Gesellschaft ein mobiler Beleuchtungsapparat zusammengestellt, welcher den Schiffen für die Dauer der Durchfahrt gegen eine Vergütung von 10 £ leihweise überlassen wird. Der Apparat besteht aus einer schnelllaufenden Dampfmaschine (von Brotherhood), die mit der Lichtmaschine direct gekuppelt ist; letztere gibt bei 600 Umdrehungen 65 V und 70 A, welche zur Speisung des 12.000 Kerzen starken Suchers und der nur zeitweise brennenden, 6000 Kerzen

ſtarken Lampe auf dem Maſte dienen. Das Sucherlicht (Fig. 158) iſt in einem Projectionsapparate eingeſchloſſen, in welchem ein Reflector die Lichtſtrahlen parallel macht und auf ein Linſen- und Prismenſyſtem wirft, deſſen Auf-

Fig. 157.

Fig. 158.

gabe darin beſteht, die Lichtſtrahlen in ein flach-fächerartiges Bündel zu bringen, das nur die Waſſerfläche beleuchtet, aber weder die eigene Mannſchaft noch die anderer Schiffe blendet (Fig. 159). Dieſe Lampe iſt ſammt ihrem Projector in einem Käfig untergebracht, der noch Raum genug zur Aufnahme eines Mannes beſitzt und am Vordertheile des Schiffes, möglichſt nahe der Waſſerfläche befeſtigt wird.

Die Lampe auf dem Maste ist mit einem Hohlspiegel versehen und wird nur dann in Thätigkeit gesetzt, wenn andere Schiffe oder Hindernisse zu passiren sind.

Gegenwärtig fahren unter Anwendung des elektrischen Lichtes 43 % der Schiffe Nachts durch den Canal, und zwar in 18—20 Stunden. Der hierdurch per Jahr erzielte Gewinn wird mit 100.000 £ veranschlagt (für die Durch-

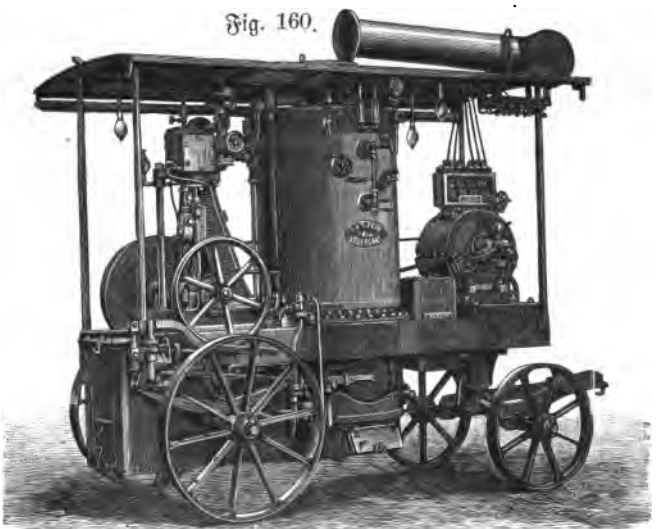
Fig. 159.

fahrt von 1200 Schiffen), eine Ziffer, die den Nutzen des elektrischen Lichtes in überzeugender Weise darlegt.

Eine andere Lösung derselben Aufgabe oder ähnlicher hat F. Walker darin gefunden, daß er Dampfkessel, Dampfmaschine sammt der Lichtmaschine und dem Projector auf eine Art Floß stellt, welches das betreffende Schiff vor sich herschickt. Bedarf man dieses Leuchtflosses nicht mehr, o kann dessen Dampfkraft dazu benützt werden, das Floß mit einer Geschwindigkeit von 6—8 km pro Stunde fortzubewegen.

Das **Leuchtfloß** stellt eine transportable Beleuchtungsanlage zu Wasser dar und ebensolche sind natürlich auch längst für das Land construirt und benützt worden. Einer derartigen Einrichtung, soweit sie im Eisenbahnwesen Verwendung findet, wurde bereits gedacht. Es sind aber auch schon vielfach Beleuchtungswagen gebaut worden, die vom Hause aus zur Fortbewegung auf gewöhnlicher Straße be-

Fig. 160.



stimmt sind und verschiedene Formen erhielten, entsprechend der für sie in Aussicht genommenen Verwendung.

Der **fahrbare Beleuchtungsapparat** von Fein besteht aus einem Wagen zur Aufnahme des Kessels, der Dampf- und Lichtmaschine (Fig. 160) und aus einem Beiwagen, welcher die Lampen, Kabel, Regulatoren, Werkzeuge, Lampenmasten u. s. w. enthält. Die Lichtmaschine kann sowohl zur Speisung von 6 Bogenlampen zu je 500—600 Kerzen ver-

wendet werden, als auch zum Betriebe nur eines, aber mächtigen Lichtes (mit einer Stromstärke von 35 A). Ein größeres Modell speist 8 Lampen zu je 900—1000 Kerzen oder erhält einen Stromkreis zu 60 A oder zwei zu 30 A.

Der Maschinenwagen enthält außer den bereits angegebenen Theilen zwischen den Hinterrädern noch zwei Kasten, die zur Aufnahme von Brennmaterial und Wasser bestimmt sind. Die Welle der eincylindrigen Dampfmaschine trägt ein (volles) Schwungrad, welches zugleich als Riemenscheibe für den Antrieb der Lichtmaschine dient, und auf dem entgegengesetzten Ende ein Speichenrad, bestimmt zur Drehung der Maschinenwelle über den todten Punkt. Der Gang der Maschine wird durch einen sehr empfindlichen Regulator gleichmäßig erhalten.

Die Lichtmaschine, am Vordertheile des Wagens, ist von allen metallischen Bestandtheilen desselben durch eine starke hölzerne Grundplatte isolirt, und kann, um dem Riemen die erforderliche Spannung zu geben, auf Gleitschienen verschoben werden. Sie ist zu ihrem Schutze gegen Stöße u. s. w. mit einem vielfach durchbrochenen Blechmantel umgeben und trägt den General-Umschalter. Die nothwendige Beleuchtung für den Betrieb der Maschinen besorgen drei im Wagen angebrachte Glühlampen.

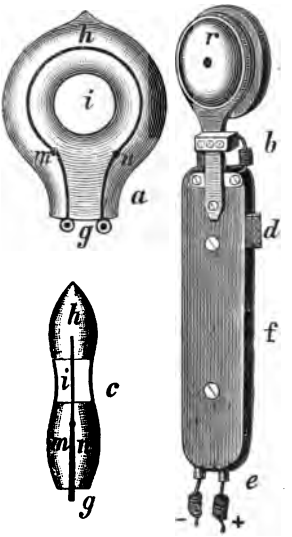
Man hat aber nicht nur fahrbare Beleuchtungsanlagen geschaffen, welche gestatten, elektrische Lichter von ungewöhnlicher Stärke (z. B. mit 30.000 Kerzen bei Wagen von Sautter-Lemonier) zu erzeugen, sondern umgekehrt auch bewegliche, beziehungsweise tragbare Apparate ersonnen, deren elektrisches Lämpchen bis zur Größe einer Erbse vermindert wurde. Zwischen diesen Grenzen sind mehr und minder bewegliche Beleuchtungsapparate der verschiedensten Größen angefertigt worden.

Eine **tragbare elektrische Lampe**, die sich für mannigfache Zwecke trefflich eignet, ist z. B. die von Trouvé construirte Lampe (Fig. 161). Die Lampe besteht aus einem cylindrischen Gefäße D zur Aufnahme der Chromsäurelösung, an dessen oberem Rande, senkrecht auf diesen, die zu ihrem Schutze mit einer Glasglocke und einem Drahtkäfige umgebene Glühlampe eingeschlossen ist. Die Elektroden der Chromsäurebatterie sind aus Kohlen- und Zinkstäben gebildet, die von einer runden Scheibe getragen werden, auf welcher auch die nothwendigen Verbindungen der Stäbe unter einander angebracht sind. Diese Scheibe sammt den Stäben ist auf einer Säule befestigt, welche den Boden des Gefäßes central frei durchsetzt und an ihrem unteren Ende ebenfalls eine Scheibe G trägt. Diese Anordnung hat zur Folge, daß beim Niederstellen des Gefäßes die Säule sammt ihren Scheiben und Stäben in ersteres hinaufgeschoben wird, indem nämlich das Gefäß vermöge seines Gewichtes an der centralen Säule herabsinkt, bis es gleichfalls die Unterlage erreicht hat. Wie aus der Figur zu ersehen, werden dadurch die Kohlen- und Zinkstäbe aus der Säure gehoben und die Lampe muß erlöschen. Wird die Lampe jedoch mit der am Gefäße befestigten Handhabe H gehoben oder aufgehängt, so sinken die Elektroden in der Säure und die Lampe fängt selbstthätig zu brennen an. Die Lichtstärke dieser Lampe kann dadurch regulirt werden, daß man die Scheibe mit den Elektroden in beliebiger Höhe an der centralen Scheibe festlegt. Die Lampe ist auch gegen Umstürzen geschützt, da sie mit einer Art Fallschirm ausgerüstet ist. Das Gefäß trägt nämlich rund herum leichtbewegliche Stäbe, welche an dem oberen Rande C des ersteren nach Art der Arme eines Regenschirmes aufgehängt sind und augenblicklich nach jener Seite hin vorfallen, nach welcher

die Lampe etwa gestoßen wird. Läßt man die centrale Säule den Boden des Gefäßes nicht durchdringen und befestigt man die Handhabe auf dem Deckel, so fungirt die Lampe in Bezug auf das selbstthätige Anzünden und Auslöschen gewissermaßen in umgekehrter Weise: sie entzündet sich, wenn

Fig. 161.

Fig. 162.



sie niedergestellt wird, und erlischt, wenn man sie aufhebt oder aufhängt.

Ein für ärztliche Untersuchungen geeigneter Apparat wurde z. B. von Bläsdorf's Nachfolger über Anregung von Dr. Schütz construirt.*) Mit diesem Apparate glaubt Letzterer das Princip eines selbstleuchtenden Auges gelöst zu haben; eines Auges, das unabhängig von jeder sonstigen

*) Elektro-technische Rundschau.

Lichtquelle überall und bei jeder Stellung und Drehung des Kopfes die Bedingungen zum Sehen sich selbst schafft, dessen Sehstrahl und Beleuchtungsstrahl ihren Weg parallel nehmen und deshalb selbst lange und enge Canäle ungehindert gemeinsam durchdringen.

In einer flachen, mit Luftzugcanälen versehenen Metall-

Fig. 163.

kapsel (Fig. 162 b) von 4·5 cm Durchmesser und 2 cm Dicke, deren hintere, in der Mitte durchbohrte Seite mit einem mit Asbest ausgefüllten Lederpolster versehen ist, um Hitze vom Auge abzuhalten, befindet sich eine kleine, flachgedrückte, schwimmgürtelförmige Glühlampe (Fig. 162, a Vorder-, c Seitenansicht). In das Bohrloch der hinteren Kapsel ist eine Metallröhre eingelöthet, welche bis durch ein die Kapsel vorne abschließendes, mattirtes Glas r hindurchgeht. Die Lampe sitzt auf diesem Röhrchen, ist von diesem

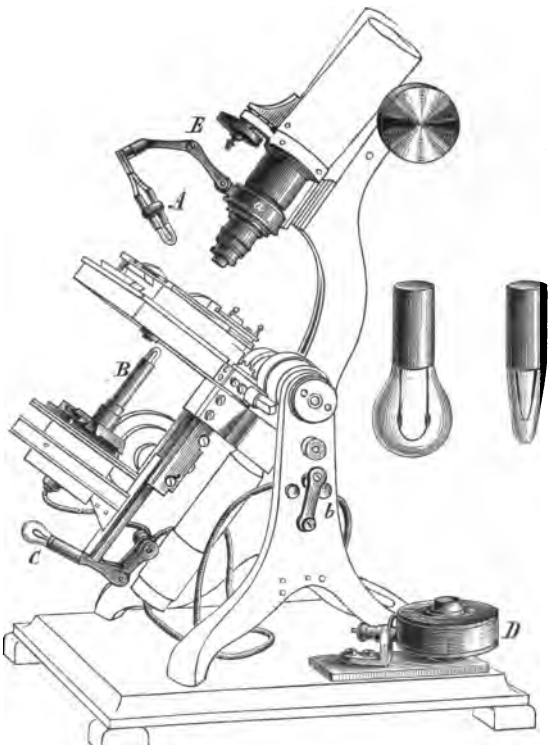
aufgefaßt. Nachdem das Glas von der Kapsel genommen, wird das erwähnte Röhrchen durch die Oeffnung i der Lampe hindurchgesteckt und hierauf die Kapsel wieder mit dem mattgeschliffenen Glasverschluß r geschlossen. Das Ganze wird hierauf mit dem Griffe e f d oder einer Stirnbinde (Fig. 163) verbunden. Durch den Griff geht die Stromzuleitung e, bei d befindet sich der Unterbrechungsknopf.

Zahlreich sind auch bereits die Anwendungen, welche das elektrische Licht bei **physikalischen, astronomischen** und anderen **Instrumenten** und Apparaten gefunden hat, so z. B. zur Beleuchtung des Fadenkreuzes bei astronomischen Fernrohren, bei Distanzmessern, zur Beleuchtung der mikroskopisch zu untersuchenden Objecte, in der Mikrophotographie (und natürlich in der Photographie überhaupt), im Projectionsmikroskope u. s. w.

H. van Heurck benützt beim Mikroskopiren die in Fig. 164 für sich und am Mikroskope angebracht abgebildeten, von Stearn verfertigten Glühlämpchen. Die Lämpchen sind am Mikroskope, dessen metallischen Theile die eine Leitung bilden, permanent in der durch die Figur dargestellten Weise befestigt. Das Lämpchen A dient zur Beleuchtung der undurchsichtigen Objecte; es ist durch den Ring a am Mikroskope befestigt und läßt sich um dieses durch ersteren herumdrehen. Außerdem erleichtern auch noch Gelenke E eine entsprechende Einstellung des Lämpchens. Die Lampe B ist auf Schienen seitlich verschiebbar und besorgt die Beleuchtung von unten. Demselben Zwecke dient auch die dritte größere Lampe C; sie kommt zur Anwendung bei Polarisations-Experimenten und bei der Mikrophotographie. Bei D ist ein Rheostat angebracht zur Regulirung der Stromstärke, und der Commutator b ist dazu beigegeben, um die eine oder die andere Lampe einzuschalten.

Zahllos sind die Anwendungen des elektrischen Lichtes auf den **Bühnen** jedes halbwegs größeren **Theaters**. Abgesehen von der Bühnenbeleuchtung an und für sich, dient

Fig. 164.



das elektrische Licht zur Nachahmung der verschiedensten Naturerscheinungen, so z. B. der aufgehenden Sonne im »Propheten«, des Mondes in »Faust« und anderen Stücken, des Regenbogens, der Blitze u. s. w.

So zeigt z. B. Fig. 165 jenen Apparat, welchen Duboscq zur Darstellung des Sonnenaufganges in der Oper »Der Prophet« angab. Der ganze Apparat besteht aus einer Bogenlampe von Foucault-Duboscq (deren Stelle natürlich auch eine andere Lampe vertreten kann),

Fig. 165.

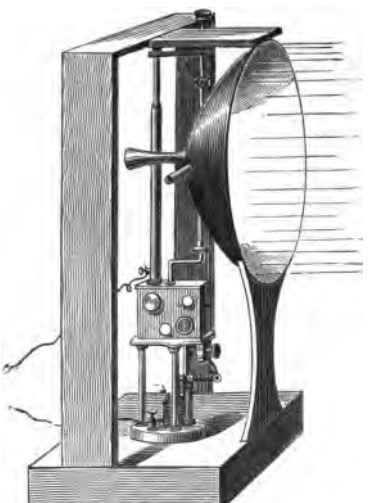


Fig. 166.

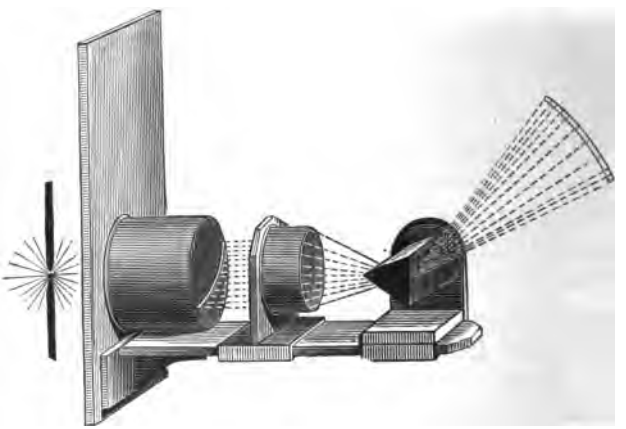
welche mit einem paraboliſchen Hohlſpiegel verſehen iſt. Letzterer bildet aus den vom Voltabogen ausgehenden Lichtſtrahlen ein paralleles, cylindriſches Strahlenbüſchel, welches, auf einem transparenten Schirme aufgefangen, eine hell beleuchtete Kreisſcheibe erzeugen muß, die man durch Bewegen des Apparates gleichfalls bewegen kann. Auf der Bühne bildet eben die den Himmel darſtellende Leinwand dieſen Schirm.

Der gewöhnliche Apparat, der zur Beleuchtung einzelner Personen verwendet wird, ist in Fig. 166 abgebildet. Bei diesem ist die Bogenlampe in einer Laterne aus Holz oder Metall eingeschlossen und sendet ihre Lichtstrahlen nur nach einer Richtung, nämlich durch die Linsen aus; eine verstellbare Blendung vor der Linse gestattet, die Beleuchtung auf eine größere oder kleinere Fläche auszudehnen. Zur Beleuchtung größerer Flächen verwendet man auch eine dem in Fig. 165 dargestellten Apparate ganz ähnliche Vorrichtung.

Die Nachahmung des Regenbogens wird durch die in Fig. 167 dargestellte Anordnung erreicht. Das durch eine Linse in ein Bündel paralleler Strahlen gebrachte Licht des Voltabogens dringt durch eine die Form des Regenbogens nachahmende Spalte, gelangt neuerdings auf eine Sammellinse und tritt hierauf in ein entsprechend aufgestelltes Glasprisma ein, welches, die weißen Lichtstrahlen in ihre farbigen Bestandtheile zerlegend, den Regenbogen erzeugt. Leitet man nämlich durch ein dreiseitiges Glasprisma die Strahlen irgend einer Lichtquelle, so gehen diese Strahlen nicht unverändert durch, sondern werden bekanntlich in Strahlenbüschel verschiedener Farben zerlegt; fängt man letztere auf einem weißen Schirme auf, so erscheinen die Farben nebeneinander und in jener Reihenfolge, welche die Farben des Regenbogens zeigen. Die Linse zwischen dem Spalt und dem Prisma hat einerseits den Zweck, die Lichtstrahlen concentrirt dem Prisma zuzuführen und verstärkt anderseits die Krümmung des Regenbogens. Es mag schließlich noch bemerkt werden, daß man die Krümmung des Regenbogens auch dadurch erreichen kann, daß man, bei Benützung eines geraden Spaltes, dem Prisma an Stelle der ebenen entsprechend gekrümmte Flächen gibt.

Die Anwendung von Glühlämpchen kleiner und kleinster Dimensionen gestattet die Erzielung völlig neuartiger Lichteffecte, die mit den bisherigen Lichtquellen nicht zu erreichen waren. Trouvé umhüllt Glühlämpchen, deren Kohlenbügel einen sehr geringen Widerstand besitzen, mit mannigfachen durchbrochenen Metallfassungen und verschließt diese Oeffnungen mit verschiedenfarbigen facettirten Glasstücken

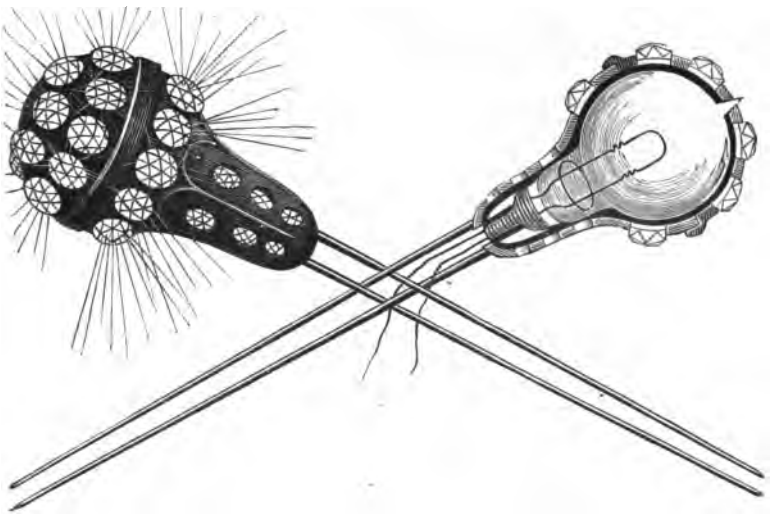
Fig. 167.



(Fig. 168). Der obere Theil der Umhüllung ist, wie die Abbildung, welche eine Haarnadel in Ansicht und Schnitt darstellt, erkennen läßt, abhebbar und gestattet dadurch die Auswechslung eines schadhaft gewordenen Lämpchens durch ein neues. Die am unteren Ende austretenden Leitungsdrähte führen zu einer Batterie, bestehend aus Zink- und Kohlenstäben, welche in eine concentrirte Lösung von doppeltchromsaurem Kali tauchen. Diese Batterie ist in mehrfachen Hartgummikästchen hermetisch eingeschlossen, welche sammt

ihrer Füllung für kleine Nadeln nur 300 Gramm wiegen und ein Lämpchen zu 2 bis 3 V beiläufig 30 Minuten lang speisen können. Das Batteriekästchen ist ein prismatisches Gefäß von quadratischer Grundfläche; die kurzen Kanten sind beiläufig 3·5, die langen 5—6 cm lang.

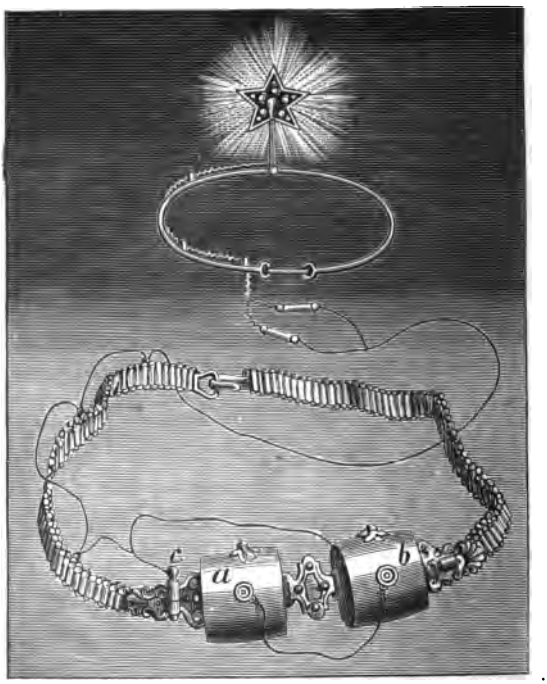
Fig. 168.



Im Ballet der Oper »La Farandole« spielen auf den Köpfen der den Geistertanz ausführenden Tänzerinnen Irrlichter. Diese wurden durch den in Fig. 169 dargestellten Apparat hervorgebracht. Auf einem Metallreifen, den die Tänzerin auf ihrem Kopfe trägt, ist ein Glühlämpchen befestigt, welches mit einem kleinen sternförmigen Metallspiegel versehen ist. Auf diesem sind grüne geschliffene Glasstücke befestigt, als Nachahmung von Smaragden, die sammt dem Metallspiegel das Licht des Lämpchens reflectiren.

Die zwei Elemente, welche zur Speisung des Glühlämpchens dienen, sind in zwei am Gürtel befestigten Gefäßen a und b untergebracht. Von hier aus führen die Leitungsschnüre,

Fig. 169.



durch weiße Schleier verdeckt, zu dem im Diadem befestigten Lämpchen; bei c ist ein kleiner Stromunterbrecher angebracht, welcher der Tänzerin gestattet, das Glühlicht in oder außer Thätigkeit zu setzen. Die Batterie besteht aus Chlorsilber-Elementen nach Scrivanow und ist in den

beiläufig 1·5 cm dicken, 4·5 cm breiten und 6 cm langen Gefäßen a und b eingeschlossen.

Eine Glühlampe erleuchtet ferner die Homunculusphiole in »Faust«, II. Theil, Glühlämpchen bilden die Glühwürmchen, die in verschiedenen Stücken zur Anwendung gelangen, Glühlämpchen bilden die leuchtenden Juwelen, Diademe u. s. w. der Tänzerinnen.

Und so könnten wir der Anwendungen des elektrischen Lichtes, sei es zu diesen oder jenen wichtigen oder unwichtigen Zwecken, noch eine lange Reihe aufzählen und beschreiben, doch nimmer Vollständigkeit erreichen. Deshalb und um den gegebenen Raum nicht zu überschreiten, schließen wir vorliegende Arbeit mit dem Wunsche, sie möge zur Verbreitung elektrotechnischer Kenntnisse das ihrige beitragen und dem elektrischen Lichte recht viele Freunde erwerben.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

Die

Elektricität im Dienste der Menschheit.

Eine populäre Darstellung der magnetischen und elektrischen Naturkräfte und ihrer praktischen Anwendungen.

Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft bearbeitet
von **Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.**

Mit 830 Illustrationen. 69 Bog. Groß-Octav. Geh. in 2 Halbbänden à 3 fl. = 5 M. 40 Pf. In elegantem Original-Prachtband 7 fl. 20 kr. = 13 Mark.

Die

Elektricität des Himmels und der Erde.

Von Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.

Mit 400 Illustrationen und Farbentafeln. 61 Bog. Groß-Octav. Geh. in 2 Halbbänden à 3 fl. = 5 M. 40 Pf. In elegantem Original-Prachtband 7 fl. 20 kr. = 13 Mark.

Das elektrische Licht

und die hierzu angewendeten

Lampen, Kohlen und Beleuchtungskörper.

Dargestellt von Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.

Zweite Auflage. — Mit 89 Abbildungen. 15 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark. Eleg. gbdn. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

Die

elektrischen Beleuchtungs-Anlagen

mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung.

Dargestellt von **Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.**

Zweite Auflage. Mit 62 Abbild. 16 Bog. 8. Geh. Preis 1 fl. 65 kr. = 3 Mark. Eleg. gbdn. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

Blitz und Blitz-Schutzvorrichtungen.

Von Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.

Mit 80 Abbild. 17 Bog. 8. Geh. Preis 1 fl. 65 kr. = 3 Mark. Eleg. gbdn. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

Elektricität und Magnetismus im Alterthume.

Von Dr. Alfred Ritter v. Urbanitzky.

Mit 9 Abbild. 19 Bog. 8. Geh. Preis 1 fl. 65 kr. = 3 Mark. Eleg. gbdn. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

APR 28 1891

MAY 19 1892

Eng 4128.90
Die elektrische Beleuchtung und ihr
Cabot Science
001876418
3 2044 091 864 090